

УДК [656.13:620.1]-027.45

В. Є. ОЛІШЕВСЬКА^{1*}, Г. С. ОЛІШЕВСЬКИЙ², Г. П. ІВАНОВА³

^{1*}Каф. автомобілів та автомобільного господарства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (099) 36 68 845, ел. пошта olishevsk.v.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351

²Каф. електроенергетики, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (095) 56 51 830, ел. пошта olishevskiy.h.s@nmu.one, ORCID 0000-0001-9576-7527

³Каф. будівництва, геотехніки та геомеханіки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (050) 45 29 945, ел. пошта ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

Металеві конструкційні матеріали для виробництва і ремонту деталей автомобілів: практика та перспективи

Мета. Основною метою роботи є огляд і систематизація металевих конструкційних матеріалів для виробництва і ремонту деталей автомобілів, а також аналіз сучасних тенденцій їх подальшого розвитку. **Методика.** До основних проблем, які сьогодні пов'язані з металевими конструкційними матеріалами, 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 повоєнної відбудови, потреба економії ресурсів. 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 ударну в'язкість). **Результати.** Проаналізовано сучасний стан та проблеми, що пов'язані з металевими конструкційними матеріалами; показано, що конструкційні матеріали суттєво впливають на масу автомобіля, міцність, надійність, корозійну стійкість, витрати паливно-мастильних матеріалів і кількість шкідливих викидів в атмосферу. Проведений аналіз конструкційних вуглецевих сталей дозволяє коректно формулювати вимоги, що пред'являються до сталей певних груп автомобільних деталей, і виконувати вибір матеріалів для виготовлення або ремонту деталей автомобілів з урахуванням властивостей матеріалу, призначення та умов роботи автомобільних деталей. Розглянуто сучасні тенденції розробки нових матеріалів на автомобільному транспорті: високоміцних сталей, алюмінієвих сплавів, наноматеріалів, композиційних матеріалів. Досліджено можливості створення шаруватих композиційних матеріалів зварюванням вибухом, проведено випробування на ударну в'язкість. **Наукова новизна.** Проведено комплексний аналіз проблем металевих конструкційних матеріалів, що дозволяє виявити їхній вплив на масу автомобіля, витрати паливно-мастильних матеріалів і кількість шкідливих викидів в атмосферу. Виділено основні тенденції розвитку металевих конструкційних матеріалів; розглянуто підхід до оцінки матеріалів за критерієм втіленої енергії. Акцентовано увагу, що розвиток інноваційних технологій створення нових металевих конструкційних матеріалів є важливим кроком до переходу на екологічно чистий транспорт в країні. Обґрунтовано використання шаруватих металевих композиційних матеріалів в якості матеріалів з високою в'язкістю руйнування. **Практична значимість.** Проведено аналіз основних марок конструкційних вуглецевих сталей, який дозволяє коректно формулювати вимоги, що висуваються до сталей певних груп автомобільних деталей, а також виконувати вибір матеріалів для виготовлення та ремонту деталей автомобілів з урахуванням властивостей сталей й призначення та умов роботи деталей автомобіля. Виділено напрями та проблеми металевих конструкційних матеріалів для деталей автомобілів. Запропоновано шаруваті металеві композиційні матеріали, отримані зварюванням вибухом, в якості матеріалів з високою в'язкістю руйнування.

Ключові слова: сталі; композиційні матеріали; класифікація матеріалів; міцність; ударна в'язкість; автомобільні деталі

Вступ

Автомобільний транспорт виконує важливу роль у функціонуванні та розвитку економіки будь-якої країни [22].

В Україні автомобільний транспорт забезпечує більше половини обсягу пасажирських перевезень і три чверті вантажних перевезень [14].

Використання автомобільного транспорту в Україні має свої особливості [14]:

- швидке зростання рівня автомобілізації;
- технічна та (або) моральна застарілість рухомого складу;
- велике споживання дефіцитних ресурсів;
- негативний вплив на навколишнє середовище, який досягає у загальному антропогенному забрудненні майже 40 %, що перебільшує будь-яку іншу галузь промисловості;
- зростання великої кількості відходів.

Відомо, що сьогодні в світі 99,8 % автомобільного транспорту працює на двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) [29]. Автори роботи [29] висловлюють думку, що, незважаючи на розвиток електромобілів і гібридів, до 2040 року 85...90 % транспортної енергії буде надходити від звичайного рідкого палива, яке приводить у дію двигуни внутрішнього згорання.

Привертає увагу той факт, що ДВЗ, який є основною силовою установкою автомобілів, під час роботи спалює велику кількість автомобільного палива та повітря, створює значний хімічний та тепловий тиски на навколишнє середовище [14, 15]. Збільшення цін на автомобільні бензини та дизельні палива ставлять задачу зменшення споживання автомобільного палива за рахунок зниження маси автомобіля. При цьому збільшення міцності розглядається як необхідна умова збереження безпеки автомобілів при ДТП.

Підписання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС поставило перед автомобільним транспортом країни важливі та актуальні завдання розвитку екологічно безпечного та ресурсозберігаючого напрямку [19, 20, 22, 25].

Важливим пунктом Паризької угоди є скорочення викидів за рахунок електрифікації транспорту. В роботі [31] проведено комплексне дослідження розвитку електромобілів в Україні та пов'язаної з ними інфраструктури крізь призму світового досвіду. Суттєвими перевагами електромобілів є відсутність викидів вихлопних

газів при експлуатації, а також ефективність електродвигуна, яка складає близько 80 % [2, 31]. Але є і недоліки: більша вага електромобілів (у середньому на 500 кг більше, ніж аналогічні автомобілі з ДВЗ) та більша вартість, яка пов'язана з акумуляторними батареями [2, 31].

Проблеми, які пов'язані з екологічним забрудненням навколишнього середовища, сьогодні виходять на перше місце серед проблем на автомобільному транспорті [14, 19, 20].

Питання суперечності між користю від автомобільного транспорту та його шкідливим впливом на навколишнє середовище в умовах дефіциту ресурсів та значних руйнувань транспорту та транспортної інфраструктури в нашій країні вирішують різними шляхами: удосконаленням конструкції автомобілів; використанням якісних автомобільних експлуатаційних матеріалів; підвищенням якості діагностування; технічного обслуговування і ремонту автомобілів; розвитком електромобілів і гібридних автомобілів [15, 18, 31].

Одним з перспективних напрямів можна вважати розробку нових конструкційних матеріалів та технології виготовлення деталей автомобілів.

Мета

Метою роботи є огляд і систематизація металевих конструкційних матеріалів для виробництва і ремонту деталей автомобілів та аналіз сучасних тенденцій їх подальшого розвитку.

Методика

До основних проблем, які сьогодні пов'язані з металевими конструкційними матеріалами, 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;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- задача зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище;
- розробка нових матеріалів, які задовольняють сучасним вимогам;
- вибір та обґрунтування конструкційних матеріалів для деталей автомобілів;
- підготовка до повоєнної 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 ударну в'язкість).

Результати

Вуглецеві сталі. При виробництві та ремонті автомобілів використовують різні металеві конструкційні матеріали, проте найбільш широко застосування знайшли сталі.

Сталі – сплави заліза з вуглецем та іншими легуючими елементами, в яких вуглецю міститься від 0,02 до 2,14 % [17].

Широке використання сталей на автомобільному транспорті пояснюється наступними факторами:

- великою кількістю заліза в земній корі (4,2 %);
- здатністю заліза змінювати свої властивості внаслідок легування, мікролегування, термічної, хіміко-термічної та термомеханічної обробок;
- приналежністю сталей до екологічних «зелених» матеріалів, тобто матеріалів, що не забруднюють навколишнє середовище після завершення експлуатації деталей, а повністю перероблюються в нові якісні деталі.

Сьогодні на виготовлення автомобілів у промислово розвинених країнах витрачається до 15 % усієї виробленої сталі.

Більше 80 % тоннажу виливків виробляють із залізовуглецевих сплавів [3].

Зі сталі у світі щорічно виготовляють до 70 млн кузовів лише легкових автомобілів (моделі автомобілів Polo, Jetta, Passat, Tiguan

Teramont, Touareg, Mercedes, Ford, Mitsubishi тощо) [24].

У масі сучасного легкового автомобіля сталь становить від 40 до 45 %, чавун – 13...15 %, пластмаси – 7...10 %, цинк – до 1 % залежно від класу (А клас – mini cars (мікроавтомобілі), В клас – Small cars (малі автомобілі), клас С – Medium cars (європейський «середній клас»), клас D – Larger cars (великі сімейні автомобілі), клас E – Executive cars («бізнес-клас»)) [24].

Сучасний підхід до оцінки новачії у виробництві автомобілів використовує втілену енергію в продукцію.

Втілена енергія – енергія, яка використовується для виробництва матеріалу чи продукту, з урахуванням видобутку, виробництва та транспортування [2].

Порівняння значення втіленої енергії для окремих конструкційних матеріалів представлено в табл. 1 [28].

Таблиця 1

Втілена енергія конструкційних матеріалів

Table 1

Embodied energy of construction materials

Матеріал з урахуванням способу виробництва	Втілена енергія (в середньому), МДж/кг
Титан	920
Алюмінієвий лист (первинний)	255
Мідь	151
Структурні полімери	84
Магній	80
Нержавіюча сталь	79
Литий алюміній (первинний)	58
Вуглецева та низьколегована сталь	51
Структурні полімери (вторинні)	42
Скло (основне)	30
Високоміцний чавун (ADI)	30
Високоміцний чавун / чавун з компакт. графітом	26
Литий алюміній (вторинний)	23
Сірий чавун	23

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Наведені в табл. 1 дані показують, що вуглецева та низьколегована сталі мають значно меншу втілену енергію (51 МДж/кг) серед сталей і кольорових металів.

Вуглецевими сталями називають сталі, в яких основним легуючим елементом є вуглець [17]. В вуглецевих сталях містяться в невеликих кількостях постійні домішки (кремній, марганець, сірка, фосфор) [11].

Сортамент вуглецевих сталей, що застосовуються під час виробництва та ремонту автомобілів, широкий. Хімічний склад сталей, фізичні, механічні, технологічні та експлуатаційні властивості наведені в ДСТУ та інших стандартах [4, 7, 8, 11].

Відомі класифікації вуглецевих сталей поділяють їх за хімічним складом, ступенем розкислення, структурою, міцністю, призначенням та якістю [17, 23].

За вмістом вуглецю вуглецеві сталі класифікують на:

- низьковуглецеві (до 0,25 % C);
- середньовуглецеві (0,3...0,55 % C);
- високовуглецеві (0,6...0,85 % C).

За ступенем розкислення і характером за твердіння сталі класифікують наступним чином:

- спокійні (сп);
- напівспокійні (пс);
- киплячі (кп).

За структурою в відпаленому (рівноважному) стані вуглецеві сталі поділяють на:

- доєвтектоїдні (що містять до 0,8 % вуглецю і мають у структурі перліт і надлишковий ферит);
- евтектоїдні (що містять 0,8 % вуглецю і мають перлітну структуру);
- заєвтектоїдні (що містять вуглецю від 0,8 % до 2,14 %, мають структуру: перліт та цементит вторинний, сітка цементиту розташована навколо зерен перліту).

За міцністю, що оцінюється тимчасовим опором, сталі можна розділити на:

- сталі нормальної (середньої) міцності (σ_B до 1 000 МПа);
- сталі підвищеної міцності (σ_B до 1 500 МПа).

За призначенням вуглецеві сталі класифікують на:

- конструкційні;
- інструментальні.

За якістю вуглецеві конструкційні сталі класифікують на [17, 23]:

- сталі звичайної якості (зміст S $\leq$ 0,060 % та P $\leq$ 0,070 %);
- якісні (зміст S $\leq$ 0,035 % та P $\leq$ 0,035 %).

Стосовно основних автомобільних деталей вуглецеві конструкційні сталі умовно можна розділити на три основні групи:

- вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості;
- вуглецеві конструкційні якісні сталі;
- вуглецеві конструкційні сталі з покращеною оброблюваністю різанням.

Першу групу складають вуглецеві конструкційні сталі звичайного якості загального призначення (ДСТУ 2651:2005 (ГОСТ 380–2005)), які випускають у вигляді прокату (балки, прутки, листи, куточки, труби тощо) і поковок [4].

Залежно від гарантованих властивостей заводи-виробники поставляють три групи сталей:

- сталі групи А – з гарантованими механічними властивостями;
- сталі групи Б – з гарантованим хімічним складом;
- сталі групи В – з гарантованими механічними властивостями та хімічним складом [23].

Вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості маркують поєднанням літер Ст, що позначають слово «сталь», і цифрою від 0 до 6, що показує умовний номер марки і не показує вміст вуглецю (чим більше число, тим більше вміст вуглецю, вище межа міцності σ_B і межа пластичності $\sigma_{0,2}$) [23].

Вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості марок Ст 2, Ст 3, Ст 4, Ст 5, Ст 6 застосовуються для виготовлення згинанням, штампуванням або зварюванням автомобільних малопіслявантажених деталей і конструкцій загального призначення: гайок, болтів, заклепок, осей, тяг, зварювальних конструкцій.

Обмежують застосування вуглецевих конструкційних сталей звичайної якості в автомобілебудуванні наступні фактори:

- вміст вуглецю до 0,49 %;
- підвищений вміст шкідливих домішок – сірки та фосфору (0,04...0,07 %);
- значна кількість неметалевих включень.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Другу групу складають вуглецеві конструкційні якісні сталі (ДСТУ 7809:2015), які характеризуються нижчим, ніж у вуглецевих конструкційних сталей звичайної якості вмістом шкідливих домішок (сірки та фосфору) і неметалевих включень [7]. Сталі поставляються у вигляді прокату, поковок та інших напівфабрикатів з гарантованим хімічним складом та механічними властивостями.

Вуглецеві конструкційні якісні сталі маркуються двоцифровими числами 05, 08, 10, 15, 20, ... , 60, що позначають середнє значення вмісту вуглецю в сотих частках відсотка [7, 23]. Наприклад, сталь 05 містить у середньому 0,05 % С, сталь 45 – 0,45 % С.

Киплячі та напівспокійні сталі маркують індексами кп і пс, відповідно, спокійні сталі маркують без індексу. Киплячими виробляють сталі 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, напівспокійними – 08пс, 10пс, 15пс, 20пс.

До важливих техніко-економічних показників сталей відносяться [17, 23, 26]:

- механічні (міцність, пластичність, твердість, ударна в'язкість та ін.);
- технологічні (рідинотекучість, оброблюваність різанням, зварюваність, деформовуваність та ін.);
- експлуатаційні (зносостійкість, жароміцність, жаростійкість та ін.);
- економічні (собівартість виробництва та ін.).

Технологічні властивості вуглецевих конструкційних сталей наведено в табл. 2.

Вуглецеві конструкційні якісні сталі знаходять широке застосування в автомобільній техніці завдяки здатності набувати різноманітні механічні та технологічні властивості в залежності від вмісту вуглецю та термічної обробки.

Групу вуглецевих конструкційних якісних сталей можна розбити на 3 підгрупи: низько-, середньо- і високовуглецеві сталі.

Низьковуглецеві сталі поділяють за призначенням на високопластичні (сталі марок 08 і 10) і цементовані (сталі 15, 20, 25).

Низьковуглецеві високопластичні сталі марок 08 і 10 з вмістом вуглецю, відповідно, 0,08 % і 0,10 % маломіцні, добре деформуються в холодному стані (особливо методом холодної витяжки), не схильні до відпускнуї крихкості, мають гарну зварюваність і оброблюваність

різанням. Ці марки сталей застосовують для виготовлення статично помірно навантажених кузовних облицювальних деталей, панелей даху та дверей. Без термічної обробки в гарячокатаному стані їх використовують для шайб, прокладок та інших деталей, що виготовляються холодною деформацією та зварюванням.

Таблиця 2

Технологічні властивості вуглецевих конструкційних сталей

Table 2

Technological properties of carbon structural steels

Марка сталі	Зварюваність	Оброблюваність різанням		
		HB	K _o	K _o '
Ст2сп, Ст2пс, Ст2кп	Зварюються без обмежень РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом, ЕШЗ, КТЗ. Для товщин більше 36 мм рекомендується підігрів і подальша термообробка.	137	2,00	1,60
Ст3сп, Ст3пс		124	1,80	1,60
Ст5сп, Ст5пс, Ст6сп, Ст6пс	Обмежено зварюються РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом, ЕШЗ. Рекомендується підігрів і подальша термообробка.	158	1,20	1,20

У гарячокатаному стані

08	Зварюються без обмежень (крім хіміко-термічно оброблених деталей) РДЗ, АДЗ під флюсом та газовим захистом, КТЗ.	131	2,10	1,65
10, 10кп		99...107	2,10	1,60
15		143	1,80	–
20		126...131	1,70	1,60
25				

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Продовження табл. 2
Continuation of Table 2

Марка сталі	Зварюваність	Оброблюваність різанням		
		НВ	К _о	К _о '
У гарячокатаному стані				
30	Обмежено зварюються РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом, ЕШЗ. Рекомендується підігрів і подальша термообробка. КТЗ – без обмежень.	143	–	1,70
35		144... 156	–	1,30
40		170	1,20	1,20
45	Важкозварювані РДЗ та КТЗ. Необхідні підігрів і наступна термічна обробка.	170... 179	1,00	1,00
50		196... 202	1,00	0,70
У нормалізованому стані				
55	Не застосовуються для зварювальних конструкцій. КТЗ з подальшою термообробкою.	212... 225	1,00	0,65
60		241	0,70	0,65
У загартованому та відпущеному стані				
65Г	Не застосовується для зварювальних конструкцій. КТЗ без обмежень.	240	0,85	0,80

Примітки: РДЗ – ручне дугове зварювання; АДЗ – автоматичне дугове зварювання; КТЗ – контактне точкове зварювання; ЕШЗ – електрошлакове зварювання; НВ – твердість за Брінеллем; К_о і К_о' – коефіцієнти оброблюваності сталей при використанні інструменту з твердих сплавів і швидкорізальної сталі, відповідно.

Область застосування низьковуглецевих високопластичних сталей на автомобільному транспорті:

08кп – основи сидінь, рамки радіатора, корпус та деталі фільтрів, шків, кришки, стійки, підсилювачі, важелі підвісок, стопори для підшипників, хрестовин, обода гальмівних колодок, деталі диска зчеплення, обойми, затиски, вилки для коробок передач, патрубки, трійники, перехідники, заглушки масляної та охолоджуючої систем, спецпрофілі (сухар клапана);

08, 08пс – балки заднього моста, кронштейни опори підвісного підшипника карданного валу, ободи коліс, корпуси дверних замків, шайби, затискачі, гнуті профілі, спецпрофілі;

10кп – балки заднього моста, кронштейни, фіксатори, стопорні шайби, хрестовини кардана, подушки ресор, тяги, храповики і болти кріплення шків, покажчики рівня оливи;

10, 10пс – деталі рульового механізму, штоухачі поршня головного циліндра гальма та зчеплення гідроприводу, реактивні штанги, стрижні, осі, пальці, спецпрофілі сухарів клапана.

Низьковуглецеві цементовані сталі марок 15, 20, 25 призначені для виготовлення деталей невеликого розміру, від яких потрібна тверда, зносостійка поверхня і в'язка серцевина [23]. Поверхневий шар після цементації зміцнюють гартуванням у воді з наступним низьким відпуском. Серцевина через низьке прожарювання зміцнюється слабо. Сталі застосовують також гарячекатаними і після нормалізації. Сталі пластичні, добре штампуються і зварюються, не чутливі до перегріву і відпускнуї крихкості.

Автомобільні деталі, що виготовляються з цементованих сталей, мають невисоку міцність і піддаються невеликим динамічним навантаженням:

15кп, 15, 15пс – кожух зчеплення, рами, карданні вали, диски колеса, штоухач клапана;

20кп – поперечки, розпірки, підсилювачі, важелі, кронштейни, опори, колодки, клямки, стопори, скоби, вкладиші, шплінти, петлі, осі петлі дверей;

20 – вал рульового управління, карданні вали, коромисло клапана, педалі зчеплення, ручки приводу дверей, хрестовини кардана, сухарі клапанів, осі, кронштейни, рульові тяги, шків, шкві,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

шестерні спідометра, обмежувачі, штовхачі, патрубки, втулки;

25кп, 25, 25пс – підрамники, поперечки.

Середньовуглецеві (поліпшені) сталі марок 30, 35, 40, 45, 50, 55 відрізняються більшою міцністю, але меншою пластичністю, ніж низьковуглецеві. Їх застосовують після поліпшення, нормалізації та поверхневого загартування. У поліпшеному стані – після загартування та високого відпуску на структуру сорбіту – досягаються висока в'язкість, пластичність та мала чутливість до концентраторів напружень. Сталі використовують для виготовлення методом гарячого штампування різних деталей широкого застосування: валів, зубчастих коліс, півосей та ін. Для них використовують усі види термічної обробки, що значно підвищує міцнісні та експлуатаційні властивості деталей.

З середньовуглецевих сталей виготовляють такі автомобільні деталі:

30кп – шоки вилки включення зчеплення;

30 – вал черв'яка рульового механізму, вісь перемикачів передач в кришці управління коробки передач, пальці тяги рульового управління, стрижні замків дверей, багажника, дверні ручки, підрамники, кронштейни кріплення супорта переднього гальма, вісь валика вимикання зчеплення;

35кп – педалі гальма, важелі гальм включення зчеплення;

35 – шестерні колінчатого валу, масляного насоса, вал рульового управління, поздовжні і поперечні тяги, шток амортизатора, важіль управління коробкою передач, вісь важеля підвіски, маточини веденого диска зчеплення, сошка рульового управління, гайки шатунних болтів.

Для виготовлення більших деталей, що працюють при невисоких циклічних і контактних навантаженнях, використовують сталі марок:

40 – шестерні колінчатого валу, вінець маховика, шатуни та кришки шатуна, півосі заднього моста, осі важеля управління коробки передач, розподільні вали, валики перемикачів заднього ходу, рульові сошки, важелі підвіски, шпильки кріплення колектора, буксирні гаки;

45 – вали розподільні, водяного насоса, шестерні колінчатого валу, вінці маховика, балки передньої осі неведучого мосту, пальці поршневі, ресорні пальці, втулки упорні підшипни-

ка, вісь шестерні заднього ходу, важелі зчеплення;

50 – шкворні поворотних цапф, маточини веденого диска зчеплення, буксирні гаки вантажних автомобілів.

Розподільні вали, виготовлені зі сталей 40 і 45 піддають поверхневому загартуванню.

Високовуглецеві сталі – це сталі марок 60, 65, 70, 75, 80, 85 з високою концентрацією вуглецю, а також сталі з підвищеним вмістом марганцю – 60Г, 65Г і 70Г. Сталі мають високу міцність, зносостійкість, високі пружні властивості. Високовуглецеві сталі застосовують переважно для виготовлення пружин і ресорних листів, тому їх називають ресорно-пружинними сталями. Застосовують сталі після загартування та середнього відпуску, нормалізації та відпуску й поверхневого загартування. Сталі чутливі до зростання зерна при нагріванні, мають низьку зварюваність та пластичність у холодному стані.

Високовуглецеві сталі застосовують для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя за наявності високих статичних, динамічних і вібраційних навантажень: хрестовин карданних шарнірів, дисків зчеплення, гнучких валів:

60 – трос спідометра;

65Г – упорні шайби шестерні;

70 – регулювальні кільця провідних шестерень, пружини балансувального грузика, ланцюги, пружинні та упорні шайби;

70Г – ресори, пружини буксирного вузла, тяги жалюзі радіатора;

80 – мембрани сигналів;

85 – ведені диски зчеплення, буксирні гаки.

Вуглецеві ресорно-пружинні сталі характеризуються невисокою релаксаційною стійкістю, особливо при нагріванні, тому вони не придатні для роботи при температурі вище 100 °С. Через низьке прожарювання з них виготовляють пружини невеликого перерізу.

Третю групу сталей складають сталі з покращеною оброблюваністю різанням. Обробка різанням є основним способом виготовлення більшості деталей машин. Оброблюваність різанням набуває великого значення для масового виробництва із застосуванням автоматичних ліній. Підвищити оброблюваність сталі можна введенням в низьковуглецеву конструкційну

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

сталь сірки і фосфору [23]. Для досягнення підвищеної оброблюваності сталь містить 0,08...0,30 % сірки та 0,05...0,15 % фосфору й поставляється в холодногнutoму стані у вигляді прутків.

Сталі з поліпшеною оброблюваністю різання відносяться до автоматних сірчистих і маркуються літерою А (автоматна) і цифрою, що показує середнє вміст вуглецю в сотих частках відсотка: А11, А12, А20, А30, А35, А40Г.

Сталь автоматна застосовується, головним чином, для виготовлення автомобільних кріпильних деталей (болтів, гайок, шпильок) на автоматних верстатах.

Сталі А11, А12, А20 використовують для кріпильних деталей, а також малонавантажених деталей складної форми, до яких пред'являються вимоги високої точності розмірів і чистоти поверхні:

А11 – болти, гайки, вилки включення зчеплення, ланцюги;

А12, А20 – шестерні колінчатого валу, вісь важеля диска зчеплення, шестерня приводу масляного насоса, вісь дросельної заслінки, опора колодки гальма.

Для виробництва деталей типу гайок, болтів, осей, шпильок, що зазнають більш високих напружень, застосовують сталі марок А30, А35, А40Г.

Автоматні сірчисті сталі мають анізотропію механічних властивостей – знижені в'язкість, пластичність і опір втомі в поперечному напрямку прокатки, що разом з низькою корозійною стійкістю обмежує їхнє застосування для виготовлення відповідальних деталей машин.

Проте сталі мають свої недоліки. Серйозним недоліком сталей є їх схильність до корозії, про масштаби якої дозволяє судити той факт, що приблизно 20 % одержуваної у світі сталі йде на покриття втрат від корозії. Крім того, транспортні засоби через корозію вимагають ремонту, а ремонтні роботи погано піддаються механізації та автоматизації і вимагають робочої сили високої кваліфікації. Сьогодні у світі приблизно десята частина робочої сили зайнята ремонтними роботами. Другим суттєвим недоліком сталей є висока густина, внаслідок чого транспортні засоби виявляються надто потужними. Наприклад, частка корисного вантажу на автотранспорті становить 10...20 %.

Практика використання сталей, чавунів і кольорових сплавів на прикладах деяких деталей автомобілів. Блоки циліндрів ДВЗ виготовляють з сірих чавунів (наприклад, сірий чавун марок СЧ150, СЧ250), легованих чавунів, алюмінієвих сплавів (наприклад, АЛ4) та інших сплавів [9, 18].

Матеріалом гільзи можуть бути чавуни (наприклад, СЧ200), сталі (наприклад, 38ХМЮА), кераміка або полімерні сплави [9, 18].

Колінчаті вали виготовляються з вуглецевих та легованих сталей (наприклад, 45, 50, 50Г, 18ХНВА, 18ХНМА, 18Х2Н4ВА, 20ХН2М, 20Х2Н4А, 20ХН3А, 20ХГНТР, 25ХГТ, 25ХГНМАЮ, 30ХГТ, 38ХН3ВА, 38ХН3МА, 40ХНМА, 45Г2, 45Х, 45ХН, 60ХФА), спеціальних високоміцних модифікованих чавунів (наприклад, ВЧ 500-7) шляхом відливання, кування або штампування [6, 7, 17, 18].

Матеріалом розподільного вала можуть бути вуглецеві та леговані сталі (наприклад, сталі 40, 40Г, 40Х, 45, 50, 15Х, 18ХГТ, 30ХГТ, 45ХН, 50Г2, 18ХГТ), леговані чавуни [7, 18]. Розподільні вали виготовляють гарячим штампуванням або литтям в оболонкові форми.

Шатуни ДВЗ виготовляють з вуглецевих та легованих сталей (наприклад, 40, 45, 40Г, 45Г2, 40Х, 40Р, 40ХФА, 40ХН2МА) штампуванням або періодичною прокаткою [16, 18].

Основним матеріалом для виготовлення кілець та тіл кочення підшипників є шарикопідшипникові хромисті сталі (наприклад, ШХ9, ШХ15, ШХ15–Ш, ШХ15–В, ШХ15СГ, ШХ15СГ–Ш, ШХ15СГ–В, ШХ20СГ) [18, 23].

Сепаратори виготовляють із вуглецевих сталей звичайної якості, бронз, латуней, полімерних матеріалів [18].

Матеріал пружин повинен мати високі пружні властивості, достатню міцність та стійкість проти втомного руйнування [18, 23].

Пружини виготовляють з конструкційних сталей з підвищеним вмістом вуглецю – приблизно в межах 0,5...0,7 %, часто з добавками марганцю і кремнію. Наприклад, пружини виготовляють з ресорно-пружинних вуглецевих та легованих сталей: 65, 70, 75, 65Г, 50С2, 55С2, 60С2, 70С3А, 55СГ, 60СГ, 50ХФА, 50ХГФА, 60С2ХА та ін. [18]. Головна вимога полягає в тому, щоб сталь мала високу межу пружності. Це досягається загартуванням з на-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ступним відпуском при температурах в межах 300...400 °С.

Часто пружини виготовляють з вуглецевих інструментальних сталей У7, У8А, У10А, У12А [5, 18]. Високу твердість і пружність створює наклеп від холодної протяжки. Після виготовлення, пружину відпускають при 250...350 °С для зняття внутрішніх напружень, що підвищує межу пружності.

Традиційно для деталей кузова автомобіля застосовувалася, як правило, низьковуглецева холоднокатана сталь із вмістом вуглецю не більше 0,08 %.

При використанні гарячекатаної смугової сталі застосовувалися такі варіанти:

- нормалізовані сталі з високим вмістом вуглецю і сірки, мікролеговані титаном;
- термомеханічна обробка сталі з високим вмістом титану для контролю форми сульфідів або мікролегованої ніобієм сталі з низьким вмістом сірки.

Тенденції впровадження нових перспективних матеріалів.

Якість сучасних конструкційних матеріалів забезпечується різними шляхами: термічною та термомеханічною обробками, легуванням, нанесенням захисних покриттів та ін. [26].

Підвищення міцності сталей для автомобілебудування від 200...250 МПа до 375 МПа дає змогу знизити масу автомобіля на 15...17 %. Як показує практика, підвищення міцності листа на 30...50 % дає можливість знижувати товщину кузовних деталей у діючих конструкціях, де перешкодою є втрата жорсткості, на 15...20 % і в новостворених – на 20...25 % [24].

Перспективним напрямом збільшення ефективності автомобіля з ДВЗ є зменшення маси автомобіля [2].

Але інтенсивний розвиток автомобільного транспорту висуває нові вимоги до конструкційних матеріалів і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, зменшити вагу автомобілів та підвищити їхню безпеку можливо шляхом використання сучасних матеріалів, найбільш перспективними з яких є [21]:

- високоміцні сталі;
- алюмінієві сплави;
- наноматеріали;
- композити.

Основною сучасною тенденцією в автомобілебудуванні є зниження ваги при збереженні високої безпеки [24]. Це можливо досягти шляхом використання високоміцних сталей.

Високоміцними називають сталі, які мають межу міцності понад 1500 МПа, що досягається підбором хімічного складу та оптимальною термічною обробкою [23].

Сьогодні при виготовленні панелей кузова застосовують високоміцні сталі, наприклад [24, 25]:

- ПНП-сталі (пластичність наведена перетворенням) (TRIP-сталі (Transformation Induced Plasticity (TRIP) steels)), які містять Cr, Ni, Mn, Mo, Si. Прикладами марок сталей є 25H25M4Г, 30X9H8M4Г2C2. Сталі термічно обробляють на аустеніт, після чого пластично деформують (прокатуванням, волочінням та ін.). В результаті отримують аустенітну структуру матеріалу, яка зміцнена дрібними зернами мартенситу;

- сталі, що штампуються – сталі з низьким вмістом вуглецю та азоту, які леговані Mn, Al, P, Si, B. Для низьколегованих сталей застосовують неповне гартування у воді, в результаті чого отримують в структурі матеріалу феритну фазу, яка забезпечує пластичність і штампуємість, і мартенситну фазу у вигляді дрібних включень, які підвищують міцність.

Важливими властивостями високоміцних сталей є висока міцність та жорсткість, які дозволяють не тільки значно підвищити міцність і жорсткість деталей (наприклад, кузовів автомобілів) порівняно зі звичайними сталями, але й ефективно поглинати енергію удару при ДТП, що захищає пасажирів та знижує ризик їхнього травмування [21, 23].

Важливими властивостями алюмінієвих сплавів є менша (порівняно зі сталями) густина, висока корозійна стійкість. Гарні технологічні властивості дозволяють отримувати деталі автомобілів різними технологіями лиття, обробки тиском [21, 23]. Використання алюмінієвих сплавів для виробництва деталей автомобілів (наприклад, у конструкціях кузова та шасі) дозволяє зменшити вагу автомобіля, підвищити його паливну ефективність, зменшити кількість викидів CO₂ [21].

Але привертає увагу той факт, що спроби заміни матеріалу деталей з чорних металів на алюміній для зменшення їх маси вимагає інвес-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

тицій у нові технології та устаткування, що збільшує вартість і енергоємність [2]. Крім того, низька питома вага матеріалу не завжди означає меншу вагу чи об'єм виробу. Автори роботи [27] показали, що з чавуну з компактним графітом (CGI) можливо створювати більш компактні дизельні двигуни з меншою вагою ніж їхні аналоги з алюмінію. Отриманий результат пояснюється тим, що конструкція з CGI (більшої жорсткості) скорочує довжину двигуна, знижуючи загальну масу, ніж у довшого двигуна з алюмінію [27].

При виборі алюмінію для кузова автомобіля треба врахувати, що вартість алюмінію значно більша ніж сталі, а технологія з'єднання деталей з алюмінію більш складна, більше коштує, підвищує витрати на електроенергію, потребує спеціального обладнання.

Сьогодні майже у всіх конструкційних матеріалів структурні елементи (фази) значно перевищують нанорозміри, а при підвищенні міцності матеріалів зменшується пластичність. Ця закономірність значно обмежує використання конструкційних матеріалів.

В наноматеріалах можливо поєднувати високі значення міцності і пластичності.

Сьогодні активно розробляються наноматеріали, які мають унікальні властивості, наприклад, високу міцність, малу густину та велику зносостійкість [21, 23].

На автомобільному транспорті наноматеріали використовуються для створення покриттів та композитів, що підвищує міцність та зносостійкість деталей автомобілів, підсилює ефективність поглинання енергії удару, що, в свою чергу, покращує безпеку пасажирів при ДТП [21].

Іншими прикладами наноматеріалів, які використовуються в автомобілях, є [1]:

- графенові листи в літєвих батареях;
- вуглецеві нанотрубки, які використовуються як армувальні елементи в композитних матеріалах;
- вуглецеві нанотрубки для виготовлення вуглець-літєвих батарей і суперконденсаторів;
- пружини, що отримані високотемпературною термомеханічною обробкою та мають великі значення міцності та довговічності;
- низьковуглецеві малолеговані сталі із субмікрокристалічною структурою, які при кімнатній

температурі мають міцність в 2...2,5 рази більше ніж у звичайних сталей;

– сталь 12X18H10T після рівноканального кутового пресування при кімнатній температурі із розміром зерна 100 нм має межу міцності в 6 разів більше ніж у цієї сталі після термічної обробки.

Перспективним напрямом розвитку конструкційних матеріалів для деталей автомобілів є композиційні матеріали [21].

Композиційний матеріал (КМ) – це матеріал, який складається із двох або більше компонентів (хімічно різнорідних фаз) та має нові властивості, що відрізняються від суми властивостей складових елементів [1].

Створення композицій, в яких об'єднані кращі якості окремих складових, дозволяє регулювати властивості композиційних матеріалів за рахунок вибору компонентів, їх концентрації, розмірів, форми, орієнтації та міцності з'єднання одне з одним [1].

Композиційні матеріали мають анізотропію механічних і фізичних характеристик, а умови руйнування КМ значно відрізняються від умов руйнування металів [1].

Композиційні армовані матеріали залежно від матеріалу матриці можна розбити на три групи:

- з металевою матрицею – металеві (частіше Al, Mg, Ni, Fe, Ti та їх сплави) композиційні матеріали (МКМ);
- з полімерною матрицею – полімерні композиційні матеріали (ПКМ);
- з керамічною матрицею – керамічні композиційні матеріали (ККМ) [1].

За геометричною характеристикою наповнювача композиційні матеріали поділяють на групи:

- з нульмірними наповнювачами, розміри яких в трьох вимірах мають один і той же порядок;
- з одномірними наповнювачами, один розмір яких значно перевищує два інших;
- з двомірними наповнювачами, два розміри яких значно перевищують третій.

За схемою розміщення наповнювачем КМ поділяють на три групи:

- з одноосним (лінійним) розташуванням у вигляді волокон, ниток, нитковидних кристалів у матриці паралельно один одному;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

– з двоосним (у площині) розташуванням наповнювача, матриці з нитковидних кристалів, фольги у паралельних площинах;

– з трьохосним (об’ємним) розташуванням і відсутністю переважного напрямлення його розташування.

За орієнтацією та типом арматури (конструкційний принцип) всі КМ можна розбити на дві групи: 1) ізотропні; 2) анізотропні [1].

До ізотропних КМ відносяться матеріали з нульмірними наповнювачами, що зміцнюються дисперсними частинками різної дисперсності, псевдосплави та матеріали, які хаотично армовані короткими (дискретними) волокнами або ниткоподібними кристалами («вусами»), а також при трьохосному (об’ємному) розташуванні волокон, що не мають переважного напрямлення розташування.

До анізотропних КМ відносяться армовані матеріали з одномірними або двомірними наповнювачами, в яких волокна орієнтовані у визначених напрямках.

За способом отримання (технологічний принцип) металеві КМ ділять на ливарні і деформовані [1].

За призначенням (експлуатаційний принцип) 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 різних теплових змін);
- фрикційні і антифрикційні (підшипники ковзання, шестерні та ін.);
- ударотривкі (броне літаків, танків та ін.);
- теплозахисні;
- зі спеціальними властивостями (електричними, магнітними, ядерними, оптичними та ін.) [1].

Новим напрямом створення КМ є метод модифікації волокон шляхом введення в їх склад значних кількостей мінеральних наповнювачів (до 60 % об.), який дозволяє отримати композитні волокна. В якості наповнювачів використовують карбонат кальцію, силікати (азбест, каолін, тальк), окисли і високодисперсні порошки металів, сажу, графіт й ін. Волокна, які отрима-

ні таким методом, також є композиційними матеріалами [1].

Перспективним напрямом розвитку КМ є створення нанокомпозитів з використанням наповнювачів з розміром частинок від декількох нанометрів до десятків нанометрів. Найчастіше в якості наповнювачів використовуються такі матеріали [1]:

- органоглини на основі монтморилоніта Montmorillonite organoclays (MMT);
- вуглецеві нановолокна Carbon nanofibers (CNFs);
- вуглецеві нанотрубки Carbon nanotubes (багатостінні (MWNTs), тонкі (SDNTs) і одностінні (SWNTs));
- наноксид кремнію (N-silica);
- наноксид алюмінію Nanoaluminum oxide (Al_2O_3);
- наноксид титану (TiO_2);
- нанометалеві частинки.

КМ, як правило, мають вищі технологічні та службові характеристики, тому що в них досягається можливість поєднання переваг різних матеріалів.

КМ відрізняються від сплавів більш високими значеннями тимчасового опору, питомої міцності і межі витривалості (на 10...50 %), модуля пружності, коефіцієнта жорсткості, зносостійкості і зниженою схильністю до утворення тріщин.

Наявність границь розділу між компонентами суттєво підвищують тріщиностійкість, що внаслідок приводить до підвищення характеристик в’язкості руйнування.

У шаруватих композиційних матеріалах, що складаються з шарів різних матеріалів, або псевдосплавів, які містять фази, що різняться за своїми властивостями, майже не можливо визначитися з тим, яка складова є матрицею, а яка – наповнювачем. Властивості цих складових доповнюють одна одну і визначаються однією підсиленою характеристикою або багатьма взаємно доповнюючими характеристиками.

Композити мають високу стійкість до ударів та корозії, що підвищує довговічність автомобіля та знижує витрати на його обслуговування [1, 21].

Композиційні матеріали (композити), які мають високу міцність та низьку густину, дозволяють виробляти панелі кузова та інші еле-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

менти, які мають підвищену жорсткість при низькій вазі.

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

Шаруваті металеві композиційні матеріали. Одним із перспективних шляхів вирішення проблеми підвищення надійності та довговічності деталей автомобілів, що працюють в складних умовах навантаження, можуть бути шаруваті металеві композиційні матеріали (ШМКМ), які дозволяють формувати структуру з границями розділу шарів та забезпечувати рівень властивостей відповідно до умов експлуатації деталей [1]. ШМКМ виготовляють прокаткою та пресуванням, термодифузійним зварюванням, литтям, осадженням на поверхню одного або декілька компонентів та ін. Одним із способів, що характеризується високою технологічністю та економічністю, є створення ШМКМ зварюванням вибухом [13].

Авторами роботи у якості вихідних матеріалів для отримання шаруватих композиційних матеріалів були обрані: легована сталь 12X18H10T та вуглецева сталь 20 [7, 10, 30]. Обрані сталі мають різну структуру (аустенітну – в сталі 12X18H10T (рис. 1) та ферито-перлітну – в сталі 20 (рис. 2), різний рівень міцності та пластичності.

Композиційні матеріали шаруватої структури 12X18H10T + 20 були отримані при різних параметрах зварювання вибухом: швидкості метання пластини, швидкості руху точки контакту, кута зіткнення, тиску на межі зіткнення. Було отримано ШМКМ на режимах зварювання 1, 2 та 3.

Властивості та працездатність композиційних виробів значною мірою визначаються неоднорідною за складом зоною з'єднання шарів, структура та властивості якої формуються за рахунок розплавлення приповерхневих шарів, їх перемішування та дифузії елементів.

В результаті зварювання вибухом, всі композиційні матеріали мали границі з'єднання шарів хвиляподібної форми. В ШМКМ були виміряні довжина та амплітуда хвиль. Розкид серед вимірених величин знаходився в межах 10 %.

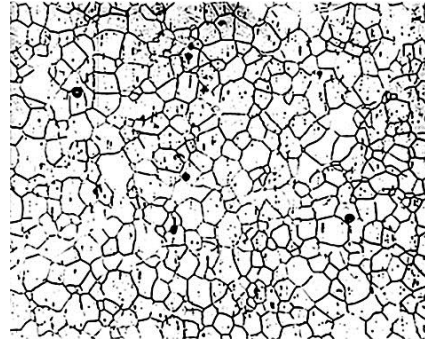


Рис. 1. Мікроструктура сталі 12X18H10T, x100

Fig. 1. Microstructure of steel 12X18H10T, x100

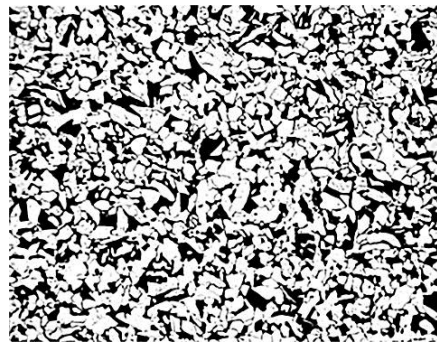


Рис. 2. Мікроструктура сталі 20, x100

Fig. 2. Microstructure of steel 20, x100

В зоні з'єднання матеріалів, отриманих на режимі зварювання 1, утворилися регулярні хвилі (рис. 3). В зоні з'єднання матеріалів, отриманих на режимі зварювання 2, утворилися регулярні хвилі з незначним завихреннями на гребнях. В зоні з'єднання матеріалів, отриманих на режимі зварювання 3, утворилися великі хвилі з яскраво вираженими завихреннями на гребнях, а в окремих точках утворилися ділянки литої структури.

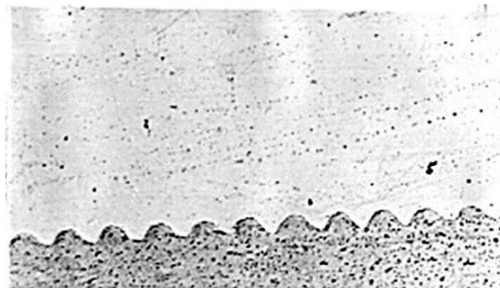


Рис. 3. Мікроструктура з'єднань сталі 12X18H10T – сталь 20, x50

Fig. 3. Microstructure of joints steel 12X18H10T – steel 20, x50

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Зварювання вибухом супроводжувалося значним зміцненням металів в зоні з'єднання. Ступінь зміцнення розраховувалася як відношення мікротвердості після зварювання вибухом до вихідної мікротвердості. Ступінь зміцнення сталі 12X18H10T склала 1,5 (режим зварювання 1), 1,6 (режим зварювання 2) та 1,7 (режим зварювання 3). Для сталі 20 ступінь зміцнення склала 1,6 (режим зварювання 1), 1,9 (режим зварювання 2) та 2,1 (режим зварювання 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 [23, 26].

Випробування на ударний вигин шаруватих зразків розмірами 10x10x55 мм з надрізом Менаже ($r = 0,25$ мм) проведено при температурі 20 °С згідно з ДСТУ ISO 148–1:2022 на маятниковому копрі з максимальною енергією удару 300 Дж [12]. В композиційних матеріалах надріз було виконано в сталі 12X18H10T. Дно надрізу розташовувалося на відстані 4 мм від межі з'єднання шарів. Площина руйнування зразків була перпендикулярна до площини з'єднання шарів металів. Результати випробувань представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Ударна в'язкість шаруватих композицій сталі
12X18H10T + сталь 20**

Table 3

**Impact strength of layered compositions steel
12X18H10T + steel 20**

Матеріал	KCV, Дж/см ²
Сталь 12X18H10T	215,0
Сталь 20	55,0
Сталь 12X18H10T + сталь 20, режим зварювання 1	138,0...142,0
Сталь 12X18H10T + сталь 20, режим зварювання 2	110,0...111,0
Сталь 12X18H10T + сталь 20, режим зварювання 3	100,0

Результати випробування композиційних матеріалів 12X18H10T + 20, що отримані зварюванням вибухом, показали, що ударна в'язкість двошарових композиційних матеріалів займає проміжне положення між значеннями ударної в'язкості сталей 12X18H10T та 20.

Зі збільшенням параметрів зварювання вибухом ударна в'язкість композиційних матеріалів знижується. Композиційні матеріали, що зварювалися на 2-му та 3-му режимах, мали ударну в'язкість на 21 % та 29 %, відповідно, нижче, порівняно з композиціями, що зварені на режимі 1.

**Наукова новизна та практична
значимість**

Проведено комплексний аналіз проблем металевих конструкційних матеріалів, що дозволяє виявити їх вплив на масу автомобіля, витрати паливно-мастильних матеріалів і кількість шкідливих викидів в атмосферу.

Виділено основні тенденції розвитку металевих конструкційних матеріалів; розглянуто підхід до оцінки матеріалів за критерієм втіленої енергії.

Акцентовано увагу, що розвиток інноваційних технологій створення нових металевих конструкційних матеріалів є важливим кроком до переходу на екологічно чистий транспорт в країні.

Обґрунтовано використання шаруватих металевих композиційних матеріалів в якості матеріалів з високою в'язкістю руйнування.

Проведено аналіз основних марок конструкційних вуглецевих сталей, який дозволяє коректно формулювати вимоги, що пред'являються до сталей певних груп автомобільних деталей, а також виконувати вибір матеріалів для виготовлення та ремонту деталей автомобілів з урахуванням властивостей сталей, призначення та умов роботи деталей автомобіля.

Виділено напрями та проблеми металевих конструкційних матеріалів для деталей автомобілів.

Запропоновано шаруваті металеві композиційні матеріали, отримані зварюванням вибухом, в якості матеріалів з високою в'язкістю руйнування.

Висновки

При виконанні наукової роботи використані опубліковані дані, а також матеріали власних досліджень.

Сьогодні 99,8 % світового автомобільного транспорту працює на двигунах внутрішнього згорання. Незважаючи на розвиток електромобілів і гібридів, до 2040 року 85...90 % транспортної енергії буде надходити від звичайного рідкого палива, яке приводить у дію двигуни внутрішнього згорання. Відомо, що ДВЗ під час роботи спалює велику кількість автомобільного палива та повітря, створює значний хімічний та тепловий тиски на навколишнє середовище.

Актуальними тенденціями розвитку автомобільного транспорту є декарбонізація, екологічна безпека та ресурсозбереження.

А одним з перспективних напрямів розвитку автомобільного транспорту, який дозволяє вирішувати поставлені завдання, є розробка нових металевих конструкційних матеріалів та технології виготовлення деталей автомобілів.

Актуальність і важливість проблеми вибору та використання конструкційних матеріалів для деталей автомобілів обумовлені впливом матеріалів на масу автомобіля, міцність, надійність, корозійну стійкість, витрати паливно-мастильних матеріалів і кількість шкідливих викидів в атмосферу.

В роботі виконано аналіз сучасного стану, основних напрямів розвитку та проблем металевих конструкційних матеріалів для деталей автомобілів.

Виконана класифікація і систематизація металевих конструкційних матеріалів, які використовуються для виробництва або ремонту деталей автомобілів.

Проведено аналіз марок вуглецевих конструкційних сталей, властивостей та областей їх використання для виготовлення та ремонту деталей автомобілів.

Досліджена практика використання сталей, чавунів і кольорових сплавів на прикладах деяких деталей автомобілів: блоків циліндрів

ДВЗ, гільз циліндрів, колінчатих валів, розподільних валів, шатунів, підшипників, пружин.

Виконано дослідження сучасних напрямів розвитку конструкційних матеріалів для деталей автомобілів: високоміцних сталей, алюмінієвих сплавів, наноматеріалів, композиційних матеріалів.

Важливими властивостями високоміцних сталей є висока міцність та жорсткість, які дозволяють не тільки значно підвищити міцність і жорсткість деталей, порівняно зі звичайними сталями, але й ефективно поглинати енергію удару при ДТП, що захищає пасажирів та знижує ризик їхнього травмування.

Важливими властивостями алюмінієвих сплавів є менша (порівняно зі сталями) густина, висока корозійна стійкість.

Сьогодні активно розробляються наноматеріали, які мають унікальні властивості, наприклад, високу міцність, малу густину та велику зносостійкість. В роботі наведено приклади використання наноматеріалів на автомобільному транспорті.

Перспективними матеріалами є композиційні матеріали, які дозволяють регулювати їхні властивості за рахунок вибору компонентів, їх концентрації, розмірів, форми, орієнтації та міцності з'єднання одне з одним.

Досліджено можливості шаруватих композиційних матеріалів, що отримані вибухом, змінювати в'язкість руйнування.

Викладений матеріал дозволяє коректно формулювати вимоги, що пред'являються до сталей певних груп автомобільних деталей.

Проведений аналіз полегшує вибір матеріалів з урахуванням умов їх роботи, призначення та ряду інших факторів.

Використання сучасних конструкційних матеріалів для виробництва деталей автомобілів дозволяє зменшити вагу автомобіля, підвищити паливну ефективність, зменшити кількість викидів CO₂, підвищити безпеку, зменшити витрати на обслуговування автомобілів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буренніков Ю. А., Сивак І. О., Сухоруков С. І. *Нові матеріали та композити* : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2020. Ч. 1. 135 с. URL: https://bmi.vntu.edu.ua/bioart/program/NM_lect.pdf
2. Дорошенко В. С., Клименко С. І. Про оптимальний вибір ливарних сплавів для автопромисловості з урахуванням втіленої енергії. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2024* : матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 25-26 квіт. 2024 р.). Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. С. 138–143. URL: https://foundry.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/06/conferenziya_2024.pdf
3. Дорошенко В. С., Калюжний П. Б. Ізотермічне гартування залізовуглецевих сплавів, суміщене з їх виливанням. *Металознавство та обробка металів*. 2024. Т. 30. № 1. С. 47–59. DOI: <https://doi.org/10.15407/mom2024.01.047>
4. ДСТУ 2651:2005. *Сталь вуглецева звичайної якості. Марки*. [Чинний від 2006-09-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 24 с.
5. ДСТУ 3833-98. *Прутки, штаби та мотки з інструментальної нелегованої сталі. Загальні технічні умови*. [Чинний від 2001-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2000. 58 с.
6. ДСТУ 3925-99. *Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. З поправками (ППС № 9-2002, ППС № 8-2006)*. [Чинний від 2000-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1999. 25 с.
7. ДСТУ 7809:2015. *Прокат сортовим, каліброваним зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови*. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 25 с.
8. ДСТУ 8429:2015. *Прокат із ресорно-пружинної вуглецевої та легваної сталі. Технічні умови*. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 19 с.
9. ДСТУ 8833:2019. *Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови*. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 11 с.
10. ДСТУ 9029:2020. *Сталь аустенітна. Методи визначення вмісту феритної фази в прутках*. [Чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.
11. ДСТУ EN 10020:2007. *Сталі. Визначення й класифікація (EN 10020:2000, IDT)*. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009.
12. ДСТУ ISO 148-1:2022. *Металеві матеріали. Випробування на ударний вигин за Шарпі на маятниковому копрі. Частина 1. Метод випробування (ISO 148-1:2016, IDT)*. [Чинний від 2022-10-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 28 с.
13. Кривцун І. В., Квасницький В. В., Максимов С. Ю., Єрмолаєв Г. В. *Спеціальні способи зварювання* : підручник / за заг. ред. Б. Є. Патона. Миколаїв : НУК, 2017. 346 с. URL: https://www.researchgate.net/profile/Gennadii-Yermolaiev/publication/321796647_SPECIALNI_SPOSOBI_ZVARUVANNA/links/5a32349b458515afb6555f62/SPECIALNI-SPOSOBI-ZVARUVANNA.pdf
14. Линник І. Е., Лежнева О. І., Дорошко Є. В., Вакуленко К. Є., Соколова Н. А., Афанасьєва І. А. *Екологічні аспекти автотранспортного комплексу* : монографія. Харків : Смуґаста типографія, 2020. 194 с.
15. Ляшук О. Л., Плекан У. М., Цьонь О. П., Гевко Б. Р. Розвиток технологій гібридних силових установок автомобілів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), Ч. І. С. 139–146. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.139-146](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.139-146)
16. Митко М. В., Шиліна О. П., Цимбал С. В. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи* : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2022. 98 с. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35995>
17. Олішевська В. Є., Бас К. М., Кривда В. В. *Конструкційні та експлуатаційні матеріали в автомобільній галузі* : метод. рек. до практичних занять за темою «Мікроструктурний аналіз і властивості вуглецевих сталей» для студентів спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Дніпро : НТУ «ДП», 2022. 22 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/161278>
18. Олішевська В. Є., Бас К. М., Кривда В. В. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Практикум* : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2025. 223 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170985>
19. Олішевська В. Є., Іванова Г. П., Олішевський Г. С. Переробка свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів: виклики та перспективи. *Наука та прогрес транспорту*. 2025. № 1(109). С. 142–151. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/325342>

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

20. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С., Іванова Г. П. Акумуляторні батареї електромобілів: технічні та екологічні аспекти. *Наука та прогрес транспорту*. 2025. № 2(110). С. 35–49.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/332155>
21. Павленко В. М., Сухомлін О. О. Роль сучасних матеріалів у забезпеченні безпеки транспортних засобів. *Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт* : зб. тез міжнародної науково-практичної конференції до Дня автомобіліста та дорожника (Харків, 22-23 жовт. 2024 р.). Харків : ХНАДУ, 2024. С. 101–104.
URL: https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/Конференції/2024/_тези24.pdf
22. Паливода О. М. Стратегії розвитку транспортних підприємств України в умовах Європейської інтеграції та війни. *Бізнес Інформ*. 2023. № 8. С. 185–192.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-8-185-192>
23. Прокопович І. В. *Металознавство* : навч. посіб. Одеса : Екологія, 2020. 308 с.
24. Рудасьов В. Б., Якубовський О. М., Головіна О. В. Сучасні тенденції застосування сталей підвищеної міцності в автомобілебудуванні. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33(72). № 1. С. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/03>
25. Собкевич О. В., Шевченко А. В., Русан В. М., Белашов С. В., Жураковська Л. А., Жаліло Я. А. *Пріоритети розвитку реального сектора в умовах війни та повоєнного відновлення економіки України* : аналітична доповідь. Київ : НІСД, 2024. 104 с. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.03>
26. Холяк В. В., Владимирський І. А. *Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів* : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 270 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62087>
27. Dawson S., Ferrarese A., Marquard R. Cast Iron Cylinder Blocks: Same Weight as Aluminum; Lower Emissions. *SAE Technical Paper*. 2023-01-0439. 2023. DOI: <https://doi.org/10.4271/2023-01-0439>
28. Keough J. The perspective of life cycle analysis in market decisions. *Modern Casting*. 2023. October. P. 34–37. URL: <https://cdn.coverstand.com/55001/804496/89f24fa87b37761cd433c2e3317adc9fa3957242.1.pdf>
29. Leach F., Kalghatgi G., Stone R., Miles P. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*. 2020. Vol. 1, 100005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>
30. Olishavska S. O., Olishavska V. Ye. Research of impact viscosity of composite materials. *Наукова весна 2025* : матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених (Дніпро, 26-28 березня 2025 р.). Дніпро : НТУ ДП, 2025. С. 50–51.
URL: https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Scientific_Spring_2025.pdf
31. Pivnyak G., Olishavska V., Olishavskiy H., Lutsenko I., Lysenko A. Comprehensive research of electric cars development and related infrastructure in Ukraine. *Physical & Chemical Geotechnologies* : 8th International Conference E3S Web of Conferences. 09 September 2024. Vol. 567. 01025.
DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456701025>

V. E. OLISHEVSKA^{1*}, H. S. OLISHEVSKIY², H. P. IVANOVA³

^{1*}Dep. of Automobiles and Automobile Economy, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (099) 36 68 845, e-mail olishavska.v.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351

²Dep. of Electric Power Engineering, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (095) 56 51 830, e-mail Olishavskiyi.h.s@nmu.one, ORCID 0000-0001-9576-7527

³Dep. of Construction, Geotechnics and Geomechanics, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (050) 45 29 945, e-mail ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

Metal Structural Materials for the Production and Repair of Automobile Parts: Practice and Prospects

Purpose. The main purpose of the work is to review and systematize metal structural for the production and repair of automobile parts, as well as analyze modern trends in their further development. **Methodology.** The main problems associated with metal structural materials today include the following: high density of materials, which increases the mass of the car, the consumption of fuel and lubricants and the amount of harmful emissions into the atmosphere; the need to ensure the strength and reliability of automobile structures; the need to ensure passive and active safety; the susceptibility of materials to corrosion, the scale of which can be judged by the fact that approxi-

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: <https://doi.org/10.15802/stp2025/341197>

© В. Є. Олішевська, Г. С. Олішевський, Г. П. Іванова, 2025

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

mately 20 % of the steel produced in the world is used to cover losses from corrosion; the task of reducing the environmental load on the environment; the development of new materials that meet modern requirements; the selection and justification of structural materials for car parts; preparation for post-war reconstruction, the need to save resources. The following research methods were used in the work: theoretical research (classification, systematization), analysis and generalization of known scientific results, empirical methods (comparison, observation), experimental research (metallographic analysis, impact toughness testing). **Findings.** The current state and problems associated with metal structural materials are analyzed; it is shown that structural materials significantly affect the mass of the car, strength, reliability, corrosion resistance, fuel and lubricant consumption and the number of harmful emissions into the atmosphere. The analysis of structural carbon steels allows us to correctly formulate the requirements for steels of certain groups of automotive parts, and to select materials for the manufacture or repair of automobile parts, taking into account the properties of the material, purpose and operating conditions of automotive parts. Modern trends in the development of new materials for road transport are considered: high-strength steels, aluminum alloys, nanomaterials, composite materials. The possibilities of creating layered composite materials by explosion welding are investigated, and impact toughness tests are conducted. **Originality.** A comprehensive analysis of the problems of metal structural materials has been carried out, which allows us to identify their impact on the mass of the car, the consumption of fuel and lubricants and the number of harmful emissions into the atmosphere. The main trends in the development of metal structural materials have been highlighted; the approach to assessing materials according to the criterion of embodied energy has been considered. It is emphasized that the development of innovative technologies for creating new metal structural materials is an important step towards the transition to environmentally friendly transport in the country. The use of layered metal composite materials as materials with high fracture toughness has been substantiated. **Practical value.** An analysis of the main grades of structural carbon steels has been carried out, which allows us to correctly formulate the requirements for steels of certain groups of automotive parts, as well as to select materials for the manufacture and repair of automotive parts, taking into account the properties of steels, the purpose and operating conditions of automotive parts. The directions and problems of metal structural materials for automotive parts have been highlighted. Layered metal composite materials obtained by explosion welding have been proposed as materials with high fracture toughness.

Keywords: steels; composite materials; material classification; strength; impact strength; automotive parts

REFERENCES

1. Buriennikov, Yu. A., Syvak, I. O., & Sukhorukov, S. I. (2020). *Novi materialy ta kompozyty : konspekt lektsii* Ch. 1. Vinnytsia: VNTU. URL: https://bmi.vntu.edu.ua/bioart/program/NM_lect.pdf (in Ukrainian)
2. Doroshenko, V. S., & Kaliuzhnyi, P. B. (2024). Isothermal hardening of iron-carbon alloys combined with their casting. *Metal Science and Treatment of Metals*, 30(1), 47-59. DOI: <https://doi.org/10.15407/mom2024.01.047> (in Ukrainian)
3. Doroshenko, V. S., & Klymenko, S. I. (2024, April). Pro optymalnyi vybir lyvarnykh splaviv dlia avtopromyslovosti z urakhuvanniam vtilenoi enerhii. *Novi materialy i tekhnologii v mashynobuduvanni-2024 : materialy XVI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii* (pp. 138-143). Kyiv, Ukraine. URL: https://foundry.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/06/conferenziya_2024.pdf (in Ukrainian)
4. *Stal vuhletseva zvychnainoi yakosti. Marky, 24 DSTU 2651:2005*. (2006). (in Ukrainian)
5. *Prutky, shtaby ta motky z instrumentalnoi nelehovanoi stali. Zahalni tekhnichni umovy, 58 DSTU 3833-98*. (2000). (in Ukrainian)
6. *Chavun z kuliastym hrafitom dlia vylyvkiv. Marky. Z popravkamy (IPS № 9-2002, IPS № 8-2006), 25 DSTU 3925-99*. (1999). (in Ukrainian)
7. *Prokat sortovym, kalibrovanyim zi spetsialnym obroblenniam poverkhni z vuhletsevoi yakisnoi konstrukttsii-noi stali. Zahalni tekhnichni umovy, 25 DSTU 7809:2015*. (2016). (in Ukrainian)
8. *Prokat iz resorno-pruzhynnoi vuhletsevoi ta lehovanoi stali. Tekhnichni umovy, 19 DSTU 8429:2015*. (2016). (in Ukrainian)
9. *Vylyvky iz siroho chavunu z plastynchastym hrafitom. Zahalni tekhnichni umovy, 11 DSTU 8833:2019*. (2019). (in Ukrainian)
10. *Stal austenitna. Metody vyznachennia vmistu ferytnoi fazy v prutkakh, DSTU 9029:2020*. (2021). (in Ukrainian)
11. *Stali. Vyznachennia y klasyfikatsiia, DSTU EN 10020:2007 (EN 10020:2000, IDT)*. (2009). (in Ukrainian)
12. *Metalevi materialy. Vyprobuvannia na udarnyi vyhyn za Sharpi na maiatnykovomu kopri. Chastyna 1. Metod vyprobuvannia (ISO 148-1:2016, IDT), 28 DSTU ISO 148-1:2022*. (2022). (in Ukrainian)

13. Krivtsun, I. V., Kvasnytskyi, V. V., Maksymov, S. Yu., & Yermolaiev, G. V. (2017). *Spetsialni sposoby zvareuvannia* : pidruchnyk. (Patona, B. Ye. (Ed.)). Mykolaiv : NUK.
URL: https://www.researchgate.net/profile/Gennadii-Yermolaiev/publication/321796647_SPECIALNI_SPOSOBI_ZVARUVANNA/links/5a32349b458515afb6555f62/SPECIALNI-SPOSOBI-ZVARUVANNA.pdf (in Ukrainian)
14. Lynnyk, I. E., Lezhneva, O. I., Dorozhko, Ye. V., Vakulenko, K. Ye., Sokolova, N. A. & Afanas'yeva, I. A. (2020). *Ekolohichni aspekty avtotransportnoho kompleksu*: monohrafiia. Kharkiv: Vydavnytstvo «Smuhasta typohrafiya» (in Ukrainian)
15. Lyashuk, O. L., Plekan, U. M., Tson, O. P., & Gevko, B. R. (2023). Development Technologies of Cars Hybrid Power Plants. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 8(39), P. 1, 139-146.
DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.139-146](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.139-146) (in Ukrainian)
16. Mytko, M. V., Shylyna, O. P., & Tsymbal, S. V. (2022). *Osnovy tekhnolohii vyrobnytstva ta remontu avtomobiliv. Orhanizatsiia samostiinoi ta praktychnoi roboty* : navch. posib. Vinnytsia : VNTU.
URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35995> (in Ukrainian)
17. Olishevskaya, V. Ye., Bas, K. M., & Krivda, V. V. (2022). *Konstruktsiini ta ekspluatatsiini materialy v avtomobilnii haluzi* : metod. rek. do praktychnykh zaniat. Dnipro: NTU «DP».
URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/161278> (in Ukrainian)
18. Olishevskaya, V. Ye., Bas, K. M., & Krivda, V. V. (2025). *Osnovy tekhnolohii vyrobnytstva ta remontu avtomobiliv. Praktykum* : navch. posib. Dnipro: NTU «DP». URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170985> (in Ukrainian)
19. Olishevskaya, V. E., Ivanova, H. P., & Olishevskiy, H. S. (2025). Recycling Lead Acid Car Batteries: Challenges and Prospects. *Science and Transport Progress*, 1(109), 142-151.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/325342> (in Ukrainian)
20. Olishevskaya, V. E., Olishevskiy, H. S., & Ivanova, H. P. (2025). Electric Vehicle Batteries: Technical and Environmental Aspects. *Science and Transport Progress*, 2(110), 35-49.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/332155> (in Ukrainian)
21. Pavlenko V. M., & Suxomlin O. O. (2024, October) Rol suchasnykh materialiv u zabezpechenni bezpeky transportnykh zasobiv. In *Modern automotive industry, transport and road infrastructure '2024 (MAITRI 2024) : book of abstracts International Scientific and Practical Conference until the Day of Workers of Automobile Transport and Road Workers* (pp. 101-104). Kharkiv.
URL: https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/Конференції/2024/_тези24.pdf (in Ukrainian)
22. Palyvoda, O. M. (2023). Growth Strategies for Transport Enterprises of Ukraine in the Conditions of European Integration and War. *Business Inform*, 8, 185-192.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-8-185-192> (in Ukrainian)
23. Prokopovych, I. V. (2020). *Metaloznavstvo* : navch. posib. Odesa: Ekolohiia. (in Ukrainian)
24. Rudasov, V. B., Yakubovskiy, O. M., & Holovina, O. V. (2022). Suchasni tendentsii zastosuvannia stalei pidvyshchenoi mitsnosti v avtomobilebuduvanni. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky*. Vol. 33(72), 1, 12-18. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/03> (in Ukrainian)
25. Sobkevych, O. V., Shevchenko, A. V., Rusan, V. M., Bielashov, Ye. V., Zhurakovska, L. A., & Zhalilo, Ya. A. (2024). *Priorytety rozvytku realnoho sektora v umovakh viiny ta povoiennoho vidnovlennia ekonomiky Ukrainy*: analitychna dopovid. Kyiv: NISD. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.03> (in Ukrainian)
26. Kholiavko, V. V., & Vladymyrskyi, I. A. (2023). *Mekhanichni vlastyvoli ta konstruktsiina mitsnist materialiv* : pidruchnyk. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62087> (in Ukrainian)
27. Dawson, S., Ferrarese, A., & Marquard, R. (2023). Cast iron cylinder blocks: Same weight as aluminum; Lower emissions. *SAE Technical Paper*, 2023-01-0439. DOI: <https://doi.org/10.4271/2023-01-0439> (in English)
28. Keough, J. (2023, October). The perspective of life cycle analysis in market decisions. *Modern Casting*, 34-37. Retrieved from <https://cdn.coverstand.com/55001/804496/89f24fa87b37761cd433c2e3317adc9fa3957242.1.pdf> (in English)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

-
29. 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.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005> (in English)
30. 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.
URL: https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Scientific_Spring_2025.pdf (in English)
31. Pivnyak, G., Olishevskaya, V., Olishevskiy, H., Lutsenko, I., & Lysenko, A. (2024). Comprehensive research of electric cars development and related infrastructure in Ukraine. *Physical & Chemical Geotechnologies: 8th International Conference E3S Web of Conferences*, 567, 01025.
DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456701025> (in English)

Надійшла до редколегії: 27.05.2025

Прийнята до друку: 18.09.2025