

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ МАШИН МЕТАЛУРГІЙНОГО ТА ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 27, 2019, № 10-12 (317-319), 74-81

<https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.074>

УДК /669.14/669.2/629

В.А. Гнатуш, канд. техн. наук, незалежний аналітик, e-mail: vgnatush@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-0772-686X>

В.С. Дорошенко¹, д-р техн. наук, ст. наук. співр., ст. наук. співр., e-mail: doro55v@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

Сучасне застосування металевих сплавів для автомобілебудування

Виробництво транспортних засобів займає чільне місце в глобальній світовій економіці і є переднім краєм конкуренції як економічно розвинутих країн, так і потужних компаній у цій галузі, що належать до найбільш прибуткових в секторі машинобудування. В статті представлено аналіз ринку високоміцних залізобетонних та алюмінієвих сплавів для автомобілебудування з метою подальшого розвитку цієї галузі в Україні. Крім того, автотранспорт підвищеної прохідності потрібен для вирішення оборонних задач. Описано марки і хімічні склади сплавів, які найбільш передові світові компанії застосовують в конструкціях автомобілів. Зменшення використання сталевих прокату буде компенсуватись збільшенням частки використання прокату та виливків з алюмінієвих сплавів, чому сприяє тенденція зростання випуску електромобілів. Серед нових матеріалів відзначено ізотермічно загартований високоміцний чавун (ADI), який має високі ливарні властивості і зносостійкість при меншій вартості обробки, ніж сталь. З ADI, в основному, виготовляють колінчаті та розподільні вали, шестерні, кронштейни для підвісок, крильчаток, корпусів клапанів, корпусів компресорів. ADI має високу здатність до демпфірування, завдяки чому деталі поглинають енергію в 2–5 раз більше, ніж деталі зі сталі, тому рівень шуму знижується приблизно на 8–10 децибел при його застосуванні у коробках передач. Така інформація може бути корисна конструкторам, ливарникам і металургам, які забезпечують конструювання, вибір матеріалів і розробляють технологію виготовлення металевих заготовок і деталей автомобілів з урахуванням зменшення їх ваги і забруднень від їх експлуатації, а також викладачам та студентам транспортних спеціальностей, фахівцям з утилізації металу старих авто для урахування складу металів і подальшого шихтування при їх виплавці і термообробці деталей з удосконаленими властивостями.

Ключові слова: високоміцні сталі, високоміцні алюмінієві сплави, ізотермічно загартований чавун, автомобілебудування, хімічний склад, механічні властивості.

Промисловість транспортних засобів займає чільне місце в глобальній світовій економіці. Органічною її складовою є виробництво і торгівля легковими та вантажними автомобілями. За даними Міжнародної організації підприємств автомобільної промисловості (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, OICA) за період з 2001 по 2018 р. виробництво легкових і вантажних автомобілів в світі збільшилось з 56,3 до 96,2 млн шт. або в 1,7 рази (рис. 1) [1]. За підсумками 2018 р. лідерами світового автопрому є Китай (частка 28,9 %), США (11,8 %) і Японія (10,2 %), що разом становить 50,9 % світового виробництва.

При цьому сумарний експорт легкових (код 8703) і вантажних (код 8704) автомобілів в світі з 2001 по 2018 р., незважаючи на масштабні світові економічні струси, збільшився з 360,9 до 913,7 млрд USD або в

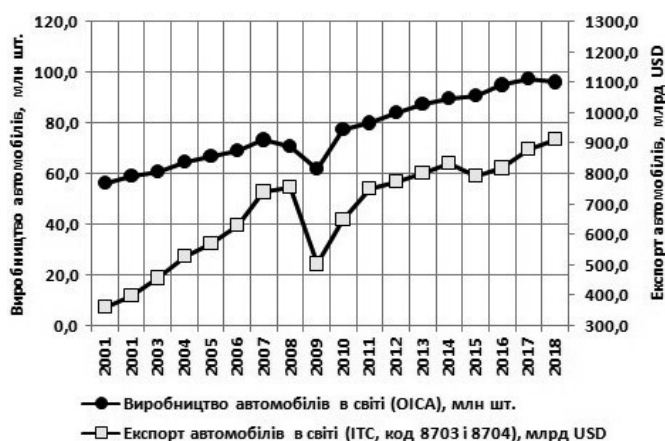


Рис. 1. Динаміка виробництва та експорту автомобілів (легкових і вантажних) у світі

Таблиця 1

Вагові та вартісні показники заміни традиційних металевих сплавів на нові міцнолегкі матеріали в автомобілях [3]

Замінювані традиційні сплави	Нові міцно-легкі матеріали	Деталі з міцно-легких матеріалів	
		Зменшення ваги, %	Відносна вартість, од.
Сталь низьковуглецева	Високоміцні сталі (High-strength steels, HSS)	10–25	1
Алюміній	Магній	25–35	1–1,5
Сталь	Полімерні композитні матеріали, посилені скловолокном	25–35	1–1,5
Сталь вуглецева	Нержавіюча сталь	20–45	1,2–1,7
Сталь, чавун	Алюміній	40–60	1,3–2
Сталь ливарна	Титан	40–55	1,5–10+
Сталь або чавун	Магній	60–75	1,5–2,5
Сталь або чавун	Алюмінієво-матричні композити	50–65	1,5–3+
Сталь	Полімерні композитні матеріали, посилені вуглецевим волокном	50–60	2–10+

2,5 рази. За підсумками 2018 р. п'ятірку країн, що лідирують, формують Німеччина (частка 18,2 %), Японія (11,9 %), Мексика (8,1 %), США (7,3 %) і Канада (4,9 %), що разом складає 50,4 % світового експорту легкових і вантажних автомобілів. Ці ж країни займають чільні місця в світовому виробництві металевих сплавів [2].

Одним з найсуттєвіших чинників існування людської цивілізації, окрім війн, є екологічна безпека. За оцінками в 2015 р. на планеті налічувалось 1,12 млрд автомобілів, які кожного дня споживали 85,26 млн барелів нафти. В свою чергу це супроводжується викидами в атмосферу парникових газів, переважно, вуглекислого газу. Однак слід відзначити, що за період 1975–2010 рр. в США викиди вуглецевого газу від легкових автомобілів зменшились на 51,4 %, а від легких

вантажівок – на 42,2 %. Основний шлях до зменшення споживання автомобілем продуктів переробки нафти і, відповідно, викидів вуглекислого газу, пролягає через зменшення ваги транспортного засобу. Вважається, що зменшення ваги середнього авто на 10 % призводить до скорочення витрат палива на 6–8 %.

При цьому, в середньому, вагу автомобіля формують: кузов (40 %), шасі (25 %), обладнання (20 %) та силова установка (15 %). Виграш у вазі автомобіля досягається шляхом заміни традиційних металевих сплавів на сучасні, більш міцні та легкі матеріали (табл. 1). Як бачимо, звичайні високоміцні низьколеговані сталі (HSS) зберігають свої економічні переваги перед іншими легкими матеріалами.

В той же час композитні матеріали залишаються дорогими через їх високу вартість і тривалий

Таблиця 2

Програми для світового автомобілебудування та виробників сталі [5]

Програма	Період дії	Показники
UltraLight Steel Autobody, ULSAB	1994–1998 рр.	В консорціумі приймали участь 35 компаній-виробників сталі в світі. Зменшення ваги автомобіля на 25 %, розробка високоміцних (High-Strength Steels, HSS) і надвисокоміцних (Ultrahigh Strength Steels, UHSS) марок сталей.
UltraLight Steel Autobody-Advanced Vehicle Concepts, ULSAB-AVC	1999–2002 рр.	В консорціумі приймали участь 33 компаній-виробників сталі в світі. Досягнення показника викидів CO ₂ на рівні 140 г/км. За рахунок дизайну транспортного засобу досягти зменшення його ваги на 20–30 %.
Future Steel Vehicle, FSV	2008–2020 рр.	В консорціумі приймають участь 10 компаній-виробників сталі в світі. Планується зменшення ваги авто на 35 % стосовно таких транспортних засобів, як електромобіль (Electric Vehicle, EV), авто на водневому паливі (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) та гібридне авто (Hybrid Electric Vehicle, HEV).

Класифікація автомобільних сталей за механічними властивостями [7]

Група 1. Сталі з низькою межею міцності на розрив (менше 350 МПа)	Група 2. Сталі з середньою межею міцності на розрив (350–500 МПа)	Група 3. Сталі з високою межею міцності на розрив (500–800 МПа)	Група 4. Сталі з надвисокою межею міцності на розрив (більше 800 МПа)
Mild 140YS/270TS; BH 180YS/300TS; BH 210YS/320TS; BH 240YS/340TS.	BH 260YS/370TS; HSLA 280YS/350TS; HSLA 350YS/450TS; DP 300YS/500TS.	DP 350YS/600TS; TRIP 350YS/600TS; DP 500YS/800TS; TRIP 500YS/800TS; CP 700YS/800TS.	DP 700YS/1000TS; MS 950YS/1200TS; MS 1150YS/1400TS; MS 1250YS/1520TS; HS 950YS/1300TS.

Примітка: Сталі груп 3 і 4 відносяться до прогресивних високоміцних сталей (Advanced High Strength Steels, AHSS); TS – межа міцності на розрив.

виробничий цикл. Повільне зростання використання алюмінію замість сталі обумовлене вагою різницею в їх вартості. Аналіз витрат та вигод показує, що сталеві деталі є міцнішими та дешевшими, ніж еквівалентні за розмірами деталі, виготовлені з інших легких матеріалів [3].

Сплави системи залізо-вуглець. Для оптимізації екологічно-вагових параметрів автомобілів та в протидію виробникам алюмінієвих сплавів в 1994 р. 35 компаній-виробників сталі з 18 країн світу розробили та почали реалізовувати програму «Надлегкі сталі для автомобільного кузова» – UltraLight Steel Autobody (ULSAB) [4]. Активну участь у виконанні програми ULSAB брала WorldAutoSteel, автомобільна група Всесвітньої асоціації сталі (World Steel Association, WSA). Успішне виконання вказаної програми послугувало основою для подальшого прогресу та започаткування ще двох програм (табл. 2).

Автомобільний кузов згідно з програмою ULSAB складається з 94 основних деталей, крім дверей і капота, і важить 203 кг, що на 25 % менше, ніж середній базовий кузов [6]. Такі позитивні результати було досягнуто за рахунок розробки лінійки деформованих автомобільних сталей, які поділяють на чотири групи залежно від межі міцності (табл. 3).

Твердосплавні сталі (Bake Hardenable, BH) за хімічним складом містять max 0,06–0,11 % C, max 0,50 % Si, max 0,7–1,0 % Mn, max 0,060–0,120 % P, max 0,030 % S, max 0,015 % Al, max 0,12 % Ti, max 0,09 % Nb. Плоский прокат з BH-сталі використовується для виготовлення автомобільних кузовів, які потребують поєднання легкої здатності до формування та високої міцності. Особливістю BH-сталі є те, що термообробка проводиться під час нанесення фарби/цинкування [8, 9].

Високоміцні низьколеговані сталі (high-strength low alloy, HSLA) за хімічним складом містять від 0,10 до 0,26 % C, від 0,5 до 1,65 % Mn, а також ніобій, цирконій, молібден, ванадій, титан. Відповідно до ASTM класифікації – це сталі A 572, A 588, A 606, A 607 тощо. Властивості цих сталей обумовлені як різними варіантами мікролегування, так і використанням контрольованої прокатки і прискореного охолодження. Слід відзначити, що ціна на прокат зі сталі HSLA формується, маючи за базу ціни на вуглецеві сталі, а не на леговані сталі. Прокат з HSLA-сталей має широкий діапазон застосування: від трубопроводів до будівельної та сільськогосподарської техніки, від комплектуючих до легкових автомобілів та до мостових конструкцій [10].

Двофазна сталь (Dual Phase, DP) за хімічним складом містить 0,10–0,17 % C, 0,8–1,5 % Mn, 0,2–0,5 % Si, 0–0,015 % Nb, 0–0,002 % B. DP-сталі мають мікроструктуру, що складається з часток твердого мартенситу в м'якій і пластичній феритовій матриці. За товщиною прокат з DP-сталі ділиться на три групи: менше 1,5 мм, 2–2,5 мм та понад 2,5 мм. Останній сортамент в гарячекатаному (г/к) виконанні використовується для диска автоколеса. Прокат г/к середньої групи застосовується для виготовлення бамперів і шасі вантажівок [9, 11].

Трансформаційно-пластична сталь (Transformation Induced Plasticity, TRIP) за хімічним складом містить 0,14–0,19 % C, 1,57–1,58 % Mn, 0,2–1,6 % Si, 0,013–0,018 % P, 0,025–0,028 % S, 0,04–0,08 % Cr, 0,02 % Ni, 0,002 % Cu, 0,036–0,043 % Al, 0,0–0,027 % Ti, 0,0–0,042 % Nb. Мікроструктура TRIP-сталей складається з аустеніту, вбудованого у первинну матрицю фериту, а також мартенситу та бейніту. Типова товщина плоского прокату з TRIP-сталей становить 2–5 мм для гарячекатаних марок і 0,6–1,5 мм для холоднокатаних марок. Ці сталі використовують для виготовлення складних деталей автомобілів (панель кузова автомобіля, балки тощо), де потрібна найкраща здатність до формування, а деталь не може виготовлятися зі сталей DP або CP [9, 12, 13].

Мартенситні сталі (Martensitic Steel, MS) за хімічним складом містять 0,12–0,26 % C, max 1,4 % Si, 0,5–2,1 % Mn, а також Ti, Nb, V, Cr, Mo, B, Cu, Ni. MS-сталі характеризуються мартенситною матрицею, що містить невелику кількість фериту та/або бейніту. У групі багатофазних сталей MS-сталі мають найвищий рівень міцності на розрив. З цієї сталі виготовляють для автомобілів поперечні балки, а також балки та арматуру бампера [14, 15].

Складнофазна сталь (Complex Phase Steel, CP) має такий хімічний склад: max 0,18–0,23 % C, max 0,80–1,00 % Si, max 2,20–2,70 % Mn, max 0,080 % P, max 0,015 % S, 0,015–2,0 % Al, max 1,00 % Cr + Mo, max 0,15 % Ti + Nb, max 0,20 % V, max 0,005 % B (EN 10346 та/або EN 10338). Високоміцна CP-сталь характеризується багатофазною мікроструктурою, що складається з тонкої феритної матриці і твердих включень бейніту, мартенситу та невеликої кількості аустеніту. Ці сталі поєднують високу міцність та пластичність з великим поглинанням енергії, тому їх використовують для виготовлення бамперів та інших подібних авто деталей [9, 16].

Ізотермічно загартований високоміцний чавун (Austempered Ductile Cast Iron, ADI). Початок застосування ADI відноситься до середини 1970-х у

комерційному транспорті в Європі. Чавун має мікро-структуру, що містить сферичний графіт, вкраплений у матрицю, яка представляє собою суміш бейнітного фериту та аустеніту, а також невелику кількість мартенситу та/або карбідів. Цей чавун використовується в автомобілебудуванні завдяки хорошій технологічності, високим механічним властивостям, зносостійкості та меншій вартості при обробці ніж сталі. Зазвичай цей чавун має такий номінальний хімічний склад: 3,6 % C, 2,5 % Si, 0,5 % Mn, 0,05 % Mg, а також такі легуючі елементи, як Mo, Ni, Cu, Cr і V. Чавун ADI, в основному, використовують для виготовлення колінчатих валів, розподільних валів, різного призначення шестерень, пружинних кронштейнів для підвісок, крильчаток, корпусів клапанів, корпусів компресорів тощо [9]. ADI також показує високу здатність до демпфірування, завдяки чому деталі поглинають енергію в 2–5 раз більше, ніж деталі зі сталі, тому рівень шуму знижується приблизно на 8–10 децибел при застосуванні цього матеріалу у коробках передач [9].

Алюмінієві сплави. Для зменшення ваги автомобілів та підвищення їх екологічності в останнє десятиліття використовують два варіанти: застосування надміцних сталей або вживання легованих алюмінієвих сплавів. Алюмінієві сплави мають більший потенціал зниження ваги, ніж сталі, але алюмінієві сплави характеризуються меншою схильністю до формування, ніж сталь. Крім того, вироби з алюмінієвих сплавів дорожчі за вартістю, ніж аналогічні вироби зі сталі. Тому автомобілі з алюмінієвим кузовом виготовляються тільки в сегменті преміум класу. Останні розробки та практичний досвід свідчать про те, що застосування алюмінієвих сплавів дозволяє зменшити вагу базового автомобіля на 25–40 %, в той час як використання надміцних сталей – на 20-30 % [17].

У 1997 р. в Західній Європі при виробництві автомобільних компонентів переважно використовували ливарні алюмінієві сплави (частка 78 %), а на деформовані алюмінієві сплави припадало 22 % (табл. 4).

Таким чином, в кінці ХХ століття в автомобілебудуванні найбільш широко використовувався алюмінієвий ливарний сплав AISi9Cu3, частка якого стано-

вила майже 50 % усіх виливків. На другому та третьому місцях, відповідно, сплави AISi7Mg (20 %) та AISi10Mg (12 %).

На початку ХХІ століття у виробництві автомобілів широко застосовують деформовані алюмінієві сплави AA5754 H22, AA6082 T6 та AA7075 [17]. Сплав AA5754 (AlMg3) містить 2,60–3,60 % Mg, 0,10–0,60 % (Mn+Cr), max 0,20 % Zn, max 0,15 % Ti. Цей сплав має середню міцність серед алюмінієвих сплавів: 220–270 МПа і реалізується у вигляді листів і плит. Сплав 5754 виробництва компанії Aalco Metals Ltd, Великобританія, [19] має високу корозійну стійкість в морській воді та промисловій атмосфері. Він застосовується в таких спортивних автомобілях, як Jaguar XK, Lotus Evora та Chevrolet Corvette.

Сплав AA6082 T6 (Al Si1MgMn) містить 0,70–1,30 % Si, 0,60–1,20 % Mg, 0,40–1,00 % Mn, max 0,25 % Cr, max 0,20 % Zn, max 0,10 % Ti. Випускається у вигляді листів і плит. Має межу міцності мінімум 275–300 МПа і добре зварюється [19]. Він широко використовується для конструктивних кузовних компонентів, що виготовляються з застосуванням екструзії. Такі деталі застосовуються в таких розкішних автомобілях, як BMW 6, Jaguar XJ, Jaguar XK, Range Rover і Rolls-Royce Phantom.

До класу деформованих високоміцних алюмінієвих сплавів, що використовуються на транспорті (авто, авіація тощо), відноситься сплав AA7075 (AlZn5.5MgCu). Його типовий хімічний склад такий: 5,1–6,1 % Zn, 2,1–2,9 % Mg, 1,2–2,0 % Cu, 0,18–0,28 % Cr, max 0,4 % Si, max 0,2 % Ti, max 0,3 % Mn. Межа міцності сплаву 346–540 МПа. Недоліками сплаву є невисока корозійна стійкість та формуючість при кімнатній температурі [20, 21].

У зв'язку з тим, що деформовані високоміцні алюмінієві сплави формуються з труднощами при нормальних умовах, в Imperial College, Лондон, було розроблено та запатентовано технологію їх гарячого деформування Hot Forming and Quenching (HFQR) [22].

Перед початком 20-х років ХХІ століття більшість основних автовиробників розробляють технології виробництва плоского прокату зі сплавів серії AA7xxx

Таблиця 4

Структура використання алюмінієвих сплавів в автомобілебудуванні Західної Європи [18]

Тип сплаву	Марка сплаву	Марка по ISO	Частка, %
Сплави ливарні (78 %)	A 226	AlSi9Cu3	48
	A 356	AlSi7Mg	20
	A 360	AlSi10Mg	12
	A 413	AlSi12Cu	9
	A 413.2	AlSi12	7
	A 332/A 336	AlSi12CuNiMg	4
Сплави деформовані (22 %): екструзія; кування; прокатування	6060	AlMgSi0,5	35
	6016	AlSi1,2Mn0,4	15
	5754	AlMg3	14
	6082	AlMgSi1	11
	3003	AlMn1	10
	5182	AlMg4,5Mn0,4	9
	7020	AlZn5,4Mg1	6

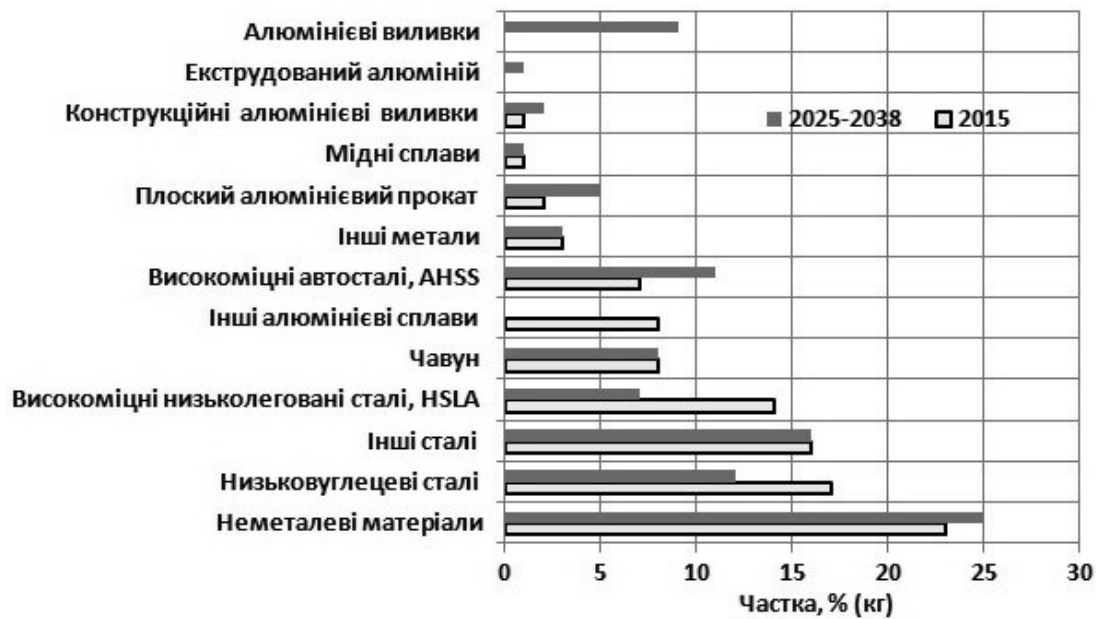


Рис. 2. Структура використання матеріалів в світовому автомобілебудуванні: стан і прогноз [24]

(Al-Zn-Mg), намагаючись досягти максимальної міцності. Однак ці сплави окрім більш високої вартості, недостатньо корозійностійкі, особливо враховуючи необхідність їх зварювання. Хоча недавні дослідження показали, що мінімізація вмісту міді в сплавах серії 7xxx забезпечує підвищення їх стійкості до корозійного розтріскування. Отже, сплави серії AA6xxx (Al-Mg-Si-Mn) залишаються основними матеріалами, що використовуються в автомобілебудуванні [23].

Перспективними для сфери автомобілебудування є сплави систем алюміній-літій та алюміній-скандій. Так, третє покоління сплавів алюміній-літій (Al-Li) може використовуватись для виготовлення компонентів автомобілів класу люкс завдяки їх поєднанню низької щільності, високої міцності та високої жорсткості. Слід відзначити, що в минулому ці сплави були зарезервовані для використання в аерокосмічній галузі. Прикладом сплавів Al-Li є високоміцні сплави 2195 (Al-Cu-Li-Mg) та 2050 (Al-Cu-Li), розроблені спеціально для задоволення потреб аерокосмічного та оборонного секторів. Алюмінієвий сплав зі скандієм (Al-Sc) відзначається високою міцністю, високою стійкістю до корозії та має хорошу зварюваність. Крім того, він зберігає свої характеристики при високих температурах, особливо в поєднанні з цирконієм. Цих властивостей сплаву можна досягти при внесенні скандію в межах від 0,1 до 1,0 %мас. Ці сплави є досить дорогими та більш орієнтованими на застосування в аерокосмічній галузі. Проте подальший розвиток та зменшення витрат на виробництво скандію збільшують вірогідність їх використання в автомобільній промисловості [23].

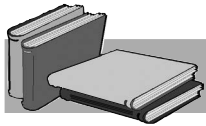
Висновки та прогноз

В результаті, як свідчить аналітика від Doug Richman, Kaiser Aluminum Corporation, США [24] (рис. 2), в 2025–2038 рр. у порівнянні з 2015 р. слід очікувати в світовому автомобілебудуванні збільшення частки використання прокату з високоміцних ста-

лей (Advanced High-Strength Steels, AHSS) з 7 до 11 %. При цьому буде мати місце зменшення частки прокату з низьковуглецевої сталі (Mild Steel) з 17 до 12 %, а з високоміцної низьколегованої сталі (High-strength Low Alloy, HSLA) – з 14 до 7 %. Це зменшення використання сталевих прокату буде компенсуватись за рахунок збільшення частки використання прокату та виливків з алюмінієвих сплавів.

Таким чином, в статті представлено аналіз ринку високоміцних залізобетонних та алюмінієвих сплавів для автомобілебудування з метою інформування вітчизняних конструкторів, ливарників і металургів, що займаються подальшим розвитком цієї галузі в Україні та забезпечують конструювання, вибір матеріалів і розробляють технологію виготовлення металевих заготовок і деталей автомобілів з урахуванням зменшення їх ваги, забруднень від їх експлуатації і збереження навколишнього середовища. Крім того, автотранспорт підвищеної прохідності потрібен для вирішення оборонних завдань. Згідно з даними Держстату, в Україні в 2018 р. налічується 270 підприємств з виробництва автотранспорту, причепів тощо, і на них працює 62 тис. працівників. Також в Україні на 2018 р. зареєстровано 133 підприємства, що займаються ливарним виробництвом, з 6,2 тис. працівників; сталеве литво виробляють на 30 фірмах, чавунне – на 60, легкі кольорові метали – на 27 і інші кольорові метали – на 16.

Світові тенденції за прогнозами передбачають, що зменшення використання сталевих прокату буде компенсуватись збільшенням частки використання прокату та виливків з алюмінієвих сплавів, чому сприяє зростання випуску електромобілів. Описана в статті інформация також може бути корисна викладачам і студентам транспортних спеціальностей, а також фахівцям з утилізації та рециклінгу металу старих авто для урахування складу металів, подальшого шихтування при їх виплавці і термообробці деталей з удосконаленнями експлуатаційними характеристиками.



REFERENCES

1. Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles. URL: <http://www.oica.net>
2. International Trade Centre. URL: <http://www.intracen.org>
3. *Demeri, M.Y.* (2012). Advanced High-Strength Steels – Science, Technology, and Application. ASM International, 22 p. URL: <https://www.asminternational.org>
4. *Paritud Bhandhubanyong, John T.H. Pearce.* (2018). Materials on Wheels: Moving to Lighter Auto-bodies. *International Scientific Journal of Engineering and Technology (ISJET)*, vol. 2, no. 1, January–June 2018, pp. 27–36.
5. *Hang Cho, Moon-Kee Kong.* (2017). The Steel Industry over the Next Two Decades. POSCO Research Institute. *Asian Steel Watch*, vol. 03, June 2017, pp. 38–45. URL: <https://www.posri.re.kr>
6. ULSAB. URL: <https://www.worldautosteel.org/projects/ulsab/ultralight-steel-auto-body-ulsab-programme/>
7. *Bzdok, M.S.* (2008). Lightweighting Materials. 5. Automotive Metals – Steel. FY 2008 Progress Report, 141 p. URL: <https://www.energy.gov>
8. Thyssen Krupp. Bake-hardening steels BHZ. Product information. May 2016, version 1, p. 14. URL: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/>
9. *Prahl, U., Ramazani, A., Berme, B.* (2013). Advanced Steels for Transport Applications. Structural Materials and Processes in Transportation. Edited by Dirk Lehmhus et al. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 1–47.
10. High-Strength Low-Alloy Steels. ASM International, 2001, pp. 193–202. URL: <https://www.asminternational.org>
11. *Granbom, Ylva* (2010). Structure and mechanical properties of dual phase steels: An experimental and theoretical analysis. Doctoral thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, p. 66. URL: <https://www.diva-portal.org/>
12. *Dimatteo, A., Lovicu, G.* (2006). Microstructures and properties of Transformation Induced Plasticity steels. *La metallurgia italiana*, no. 11–12/2006, pp. 37–41. URL: <http://www.aimnet.it>
13. Transformation-Induced Plasticity (TRIP) Steel. URL: <https://www.worldautosteel.org/>
14. *Yukihiro Utsum, Atsuhiko Shiraki.* (2017). Martensitic Steel Sheets of 1300 and 1500 MPa Grades. *Kobelco Technology Review*, no. 35, Jun. 2017, pp. 34–38.
15. Martensitic (MS) Steel. URL: <https://www.worldautosteel.org/>
16. Complex-phase steels. Voestalpine Steel Division. 06/2019, p. 3. URL: <https://www.voestalpine.com/steel>
17. *Tisza, M., Lukács, Zs.* (2018). High strength aluminum alloys in car manufacturing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 418 (2018), 8 p. URL: <https://iopscience.iop.org>
18. *Zapp, P., Rombach, G., Kuckshinrichs, W.* (2002). The Future of Automotive Aluminium, p. 5. URL: <http://www.metallurgie.rwth-aachen.de>
19. Aalco Metals Ltd, UK. URL: <http://www.aalco.co.uk/products/aluminium.aspx>
20. Aluminum 7075-T6; 7075-T651. Aerospace Specification Metals Inc. URL: <http://asm.matweb.com/>
21. *P. Vijaya Kumar, G. Madhusudhan Reddy, K. Srinivasa Rao.* (2015). Microstructure, mechanical and corrosion behavior of high strength AA7075 aluminium alloy friction stir welds – Effect of post weld heat treatment. *Defence Technology* 11 (2015), pp. 362–369. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/73bc/b48960cfc34edb1f5c112176b0789b6fc84e.pdf>
22. *Tisza, M.* (2017). High-strength steels and aluminium alloys in lightweight body manufacturing. *Archives of Materials Science and Engineering*. December 2017, Volume 88, pp. 68–74.
23. *Goran Djukanovic* (2019). Aluminium Alloys in the Automotive Industry: a Handy Guide. Feb. 28, 2019, p. 7. URL: <https://aluminiuminsider.com/aluminium-alloys-automotive-industry-handy-guide/>
24. *Doug Richman.* (2017). Mega trends in Advanced Automotive Metals. T3 Manufacturing Summit. April 24–25, 2017, 19 p. URL: <https://www.cargroup.org>

Received 01.11.2019

Аннотація

В.А. Гнатуш, канд. техн. наук, незалежний аналітик,
e-mail: vgnatush@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0772-686X>
В.С. Дорошенко¹, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., ст. науч. сотр.,
e-mail: doro55v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

¹*Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України (Київ, Україна)*

Современное применение металлических сплавов для автомобилестроения

Производство транспортных средств занимает видное место в глобальной мировой экономике и является передним краем конкуренции как экономически развитых стран, так и крупных компаний в этой области, относящихся к наиболее прибыльным в секторе машиностроения. В статье представлен анализ рынка высокопрочных железоуглеродистых и алюминиевых сплавов для автомобилестроения с целью дальнейшего развития этой отрасли в Украине. Кроме того, автотранспорт повышенной проходимости нужен для решения оборонных задач. Описаны марки и химические составы сплавов, которые наиболее передовые мировые компании применяют в конструкциях автомобилей. Уменьшение использования стального проката будет компенсироваться увеличением доли использования проката и отливок из алюминиевых сплавов, чему способствует тенденция роста выпуска электромобилей. Среди новых материалов отмечен изотермически закаленный высокопрочный чугун (ADI), который имеет высокие литейные свойства и износостойкость при меньшей стоимости обработки, чем сталь. Из ADI, в основном, изготавливают коленчатые и распределительные валы, шестерни, кронштейны для подвесок, крыльчаток, корпусов клапанов, корпусов компрессоров. ADI обладает высокой способностью к демпфированию, благодаря чему детали поглощают энергию в 2–5 раз больше, чем детали из стали, поэтому уровень шума снижается примерно на 8–10 децибел при его применении в коробках передач. Такая информация может быть полезна конструкторам, литейщикам и металлургам, которые обеспечивают конструирование, выбор материалов и разрабатывают технологию изготовления металлических заготовок и деталей автомобилей с учетом уменьшения их веса и загрязнений от их эксплуатации, а также преподавателям и студентам транспортных специальностей, специалистам по утилизации металла старых авто для учета состава металлов и дальнейшей шихтовки при их выплавке и термообработке деталей с улучшенными свойствами.

Ключевые слова

Высокопрочные стали, высокопрочные алюминиевые сплавы, изотермически закаленный чугун, автомобилестроение, химический состав, механические свойства.

Summary

V.A. Gnatush, PhD (Engin.), Independent Analyst,
e-mail: vgnatush@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0772-686X>
V.S. Doroshenko¹, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Senior
Researcher, e-mail: doro55v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

¹*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)*

Modern use of metal alloys for the automotive industry

Vehicle manufacturing is at the forefront of the global world economy and is the forefront of competition from both economically advanced countries and powerful companies in the industry that are among the most profitable in the engineering sector. The article presents an analysis of the market for high-strength iron and carbon alloys for the automotive industry with a view to further developing this industry in Ukraine. In addition, off-road vehicles are required for defense purposes. The brands and chemical compositions of the alloys used by the world's most advanced companies in car designs are described. The decrease in the use of rolled steel will be offset by an increase in the use of rolled steel and castings made of aluminum alloys, which is fueled by the upward trend in electric vehicle output. Among the new materials is isothermally hardened austempered ductile iron (ADI), which has high foundry properties and durability at a lower cost of processing than steel. ADI mainly produces crankshafts and camshafts, gears, suspension brackets, impellers, valve housings, compressor housings. ADI has a high damping ability, which makes the parts absorb 2–5 times more energy than steel parts, so noise levels are reduced by about 8–10 decibels when used in gearboxes. Such information may be useful to designers, founders and metallurgists who provide the design, selection of materials and technology for the manufacture of metal billets and parts of vehicles, taking into account the reduction of their weight and pollution from their operation, as well as teachers and students of transport specialties, specialists in the utilization of metals of old cars to account for the composition of metals and subsequent blending in their melting and heat treatment of parts with advanced properties.

Keywords

High-strength steels, high-strength aluminum alloys, austempered ductile iron, automotive, chemical composition, mechanical properties.