

**Рудасьов В.Б.**

Відокремлений структурний підрозділ «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Якубовський О.М.**

Відокремлений структурний підрозділ «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Головіна О.В.**

Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук

## СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

*В огляді розглянуто сучасний стан виробництва та показано перспективу застосування листових сталей підвищеної міцності (СПМ) в автомобілебудуванні. Розглянуто етапи застосування СПМ із середини минулого століття до нашого часу. Підкреслено, що основним стимулом для розвитку нових матеріалів і марок сталей було різке зростання цін на нафту й бензин, відповідно, поставлено завдання – знизити споживання бензину за рахунок зниження маси автомобілів. Зниження маси планувалося досягти шляхом потонання листових сталей, при цьому збільшення міцності розглядалося як необхідна умова збереження безпеки автомобілів при аваріях. Відображено, як у розвитку сталей високої міцності змінювалася динаміка застосування СПМ в автомобілебудуванні. Показано, що спочатку ці сталі застосовували для виготовлення досить простих деталей, а саме: кріплення двигуна, бамперів, бічних стояків дверей, а пізніше їх почали використовувати при виробництві елементів кузова, панелей обшивки, деталей підвіски тощо. Наведено аналіз механізмів зміцнення листового прокату: зміцнення утворенням твердих розчинів, дисперсійне зміцнення, зміцнення подрібненням зерна, зміцнення другого структурного складника. Очевидно, що у високоміцних листових сталях реалізується відразу кілька механізмів зміцнення, причому одні з них можуть пригнічуватися (або посилюватися) іншими. Позначено обмеження, пов'язані з використанням листових сталей підвищеної міцності у виготовленні деталей автомобілів, але, незважаючи на перелічені недоліки, показана економічна доцільність застосування таких сталей для кузовних деталей автомобілів, що штамнуються. Установлена перевага СПМ перед іншими «легкими» матеріалами, яка полягає в тому, що для зменшення одиниці маси автомобіля вони дають змогу витратити значне менші кошти й не потребують значних змін у технології їх виробництва. Запропоновано спрямувати подальші дослідження на розробку технологічних заходів, що дадуть змогу підвищити штампування листових сталей підвищеної міцності.*

**Ключові слова:** листові сталі підвищеної міцності, автомобілебудування, штампування.

**Постановка проблеми.** Підвищення технічного рівня виробів машинобудування є найважливішим економічним завданням, вирішення якого значною мірою визначається застосуванням нових прогресивних матеріалів.

Автомобілебудування є найбільш металоємною галуззю машинобудування, де витрачається трохи менше третини всього прокату, що використовується в галузях машинобудівного комплексу. 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»). Загалом споживання сталі на один автомобіль зберігається на постійному рівні, адже з неї у світі щорічно виготовляють до 70 мільйонів кузовів лише легкових автомобілів (моделі автомобілів Polo, Jetta, Passat, Tiguan Teramont, Touareg, Mercedes, Ford, Mitsubishi тощо).

У 2020 році у світі було вироблено близько 60 мільйонів пасажирських автомобілів, що на 10 мільйонів менше, ніж у 2019 році, перед початком епідемії КОВІД [1]. Проте цілком законно припустити, що після закінчення епідемії виробництво легкових пасажирських автомобілів знову повернеться на колишній рівень у 70 мільйонів.

На цьому фоні сформувалися вимоги до виробників автомобілів, пов'язані зі зниженням матеріаломісткості, підвищенням безпеки та відповідністю екологічним нормам. Є підстави вважати, що застосування листових сталей підвищеної міцності зі спеціальними властивостями й унесення змін до технології їх штампування є одним із перспективних напрямів у вирішенні перелічених завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сьогодні питаннями застосування сталей високої міцності під час виготовлення транспортних засобів займаються багато вчених. Дослідники в роботах схиляються до висновку, що основною сучасною тенденцією в автомобілебудуванні є зниження ваги при збереженні високої безпеки. У роботі [3] подано оцінку практики та перспективи застосування високоміцних сталей в автомобільній промисловості. Авторами розглянуто марки сталей, що застосовуються, застосовність їх у виготовленні окремих деталей автомобілів і наведені шляхи зниження маси кузова. У праці [4] надано оглядову оцінку основних шляхів розвитку в галузі транспортного матеріалознавства. Авторами проведено порівняння кузовних деталей автомобіля зі сталей підвищеної міцності (далі – СПМ) з деталями з алюмінію, магнію, композиційних матеріалів і пластику. Однак у сучасній літературі недостатньо представлено наукових досліджень з глибокого аналізу та систематизації інформації щодо застосування сталей високої міцності в автомобілебудуванні, їх властивостей і способів зміцнення.

**Постановка завдання.** Мета статті – огляд і систематизація основних етапів створення тонколистових сталей в автомобілебудуванні, аналіз механізмів зміцнення листового прокату й установлення подальших напрямів використання СПМ у виготовленні деталей автомобіля.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Згідно з дослідженнями, 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%. Для автомобілебудування, у структурі споживання якого четверта частина сталі припадає на холоднокатаний лист, заміна навіть його частини на лист із СПМ є суттєвим резервом економії матеріалів і можливістю зниження маси транспортного засобу. У викорис-

танні СПМ (ще ці сталі називають «високоміцні листові сталі» (ВЛС)) чітко простежується кілька етапів. Перші розробки СПМ почалися в Японії та США в другій половині 1970-х років. Основною рушійною силою цих розробок стало різке зростання нафтових цін, що призвело до формування завдання – знизити споживання палива за рахунок зниження маси транспортного засобу. Ще одним бонусом є зниження споживання палива автомобілями, а також зменшення концентрації шкідливих домішок відпрацьованих газів у навколишнє середовище, що особливо актуально для великих міст Японії та Європи, де велике скупчення транспорту. Зниження ваги планувалося досягти шляхом витончення листових сталей, що застосовуються, з обов'язковим збільшенням міцності, що є необхідною умовою для збереження безпеки автомобілів.

На першому етапі розроблялися й застосовувалися в основному мікролеговані HSLA (НЛС) з підвищеним умістом марганцю Mn, і/або кремнію Si, і/або фосфору P плюс мікролегування ванадієм V, і/або титаном Ti, і/або ніобієм Nb. На початку ці сталі застосовували для виготовлення досить простих деталей, таких як кріплення двигуна, бампери, бічні стійки дверей. Але у 80-ті роки минулого сторіччя номенклатура деталей, що виготовляються зі СПМ, значно розширилася. СПМ почали використовувати під час виробництва елементів кузова, панелей обшивки, деталей підвіски тощо.

З кінця 1970-х у США та Японії почалися розробки із застосуванням ДФМС (двофазні феритомартенситні сталі, або DP – Dual Phase steels). Докладний аналіз цих сталей зроблено в СРСР 1986 року [10]. У чорній металургії колишнього СРСР основним виробником СПМ був Новолипецький металургійний комбінат (НЛМК), що випускав сталі 08ГСЮТ(Ф), 08ЮТР, 03ХГЮ, 06ХГЮ (останні дві з двофазною феритно-мартенситною структурою). Сталь 08ДСЮФ випускав Череповецький металургійний комбінат (ЧерМК), 07ДСЮФ – комбінат «Запоріжсталь», 10ЮТА – Магнітогорський металургійний комбінат (ММК). Водночас велося освоєння виробництва інших, більш технологічних СПМ на низці металургійних підприємств. Сталі мартенситного класу (далі – ДФМС), вироблялися на АБВ (агрегат безперервного віджигу) або САЛ (Continues Annealing Line). Перші такі лінії були побудовані в Японії та США (японською фірмою НКК). У цей час рівень міцності HSLA (НЛС) і ДФМС був мінімум 350–450–550 МПа (клас 350, 450 та 550). В основному тоді це були переважно просто холоднокатані сталі, без захисних покриттів.

На першому етапі при розробках СПМ використовувалися відомі механізми зміцнення сталі:

1. Зміцнення утворенням твердих розчинів – утворення твердих розчинів із різними металами призводить до зміцнення та деякого зниження пластичності. Твердими розчинами називають фази, у яких один із компонентів сплаву зберігає свою кристалічну решітку, а атоми інших (або іншого) компонентів розташовуються в решітці першого компонента (розчинника), змінюючи її розміри (періоди).

2. Дисперсійне зміцнення – дисперсійне твердіння – зміцнення за рахунок виділення з пересиченого твердого розчину великої кількості частинок другої (дрібнодисперсної) фази. За рахунок того, що частинки дрібнодисперсної фази перешкоджають переміщенню дефектів кристалічних ґрат (дислокацій), сплав зміцнюється.

3. Зміцнення подрібненням зерна (зернограничне зміцнення) – унікальною особливістю зернограничного зміцнення є те, що при реалізації цього механізму одночасно зі збільшенням міцності відбувається збільшення в'язкості та пластичності сталі. З подрібненням зерна знижується температура в'язкокрихкого переходу й підвищується опір крихкому руйнуванню.

4. Зміцнення другої структурної складової – мартенситом чи бейнітом. Ці структурні складові формуються в процесі безперервного віджигу сталі, який включає загартування та відпуск. Цілком очевидно, що, як правило, у ВЛС реалізується відразу кілька механізмів зміцнення, причому одні з них можуть пригнічуватись (або посилюватись) іншими.

Основні принципи, покладені в основу розробки холоднокатаних СПМ, полягали в застосуванні мікрولةгування традиційними легуючими елементами (такими як азот, фосфор, марганець, кремній, титан, ванадій тощо) у кількостях, що суттєво не впливають на вартість сталі, й у використанні звичайних металургійних агрегатів, на яких здійснювалося виробництво маловуглецевих сталей (крім виробництва д вофазної сталі). Крім того, такі методи виготовлення сталі, як контрольована прокатка або віджиг смуги, давали змогу отримати лист із високою пластичністю.

Більшість низьколегованих СПМ поставлялася у вигляді змотаної в рулон гарячекатаної смуги товщиною від 2 до 8 мм і шириною до 1500 мм. Тонкий лист товщиною від 0,5 до 2 мм отримували холоднокатаною прокаткою з

наступним віджигом у ковпакових печах для підвищення пластичності сталі перед деформацією. У ковпакових печах здійснюють віджиг змотаних або розпушених рулонів тривалістю від кількох годин до кількох діб.

Віджиг низьколегованих СПМ проводився в агрегатах безперервної дії (АБВ – агрегатах безперервного віджигу), що давало змогу варіювати властивості листа шляхом регулювання температури та швидкості нагрівання й охолодження смуги.

Зазвичай різницю між сталями прийнято показувати, використовуючи дані щодо співвідношення між міцністю (межею міцності) і пластичністю (подовженням).

На рисунку 1 представлено співвідношення між межею міцності  $\sigma_B$  та відносним подовженням  $\delta_4$  для різних холоднокатаних сталей [5].

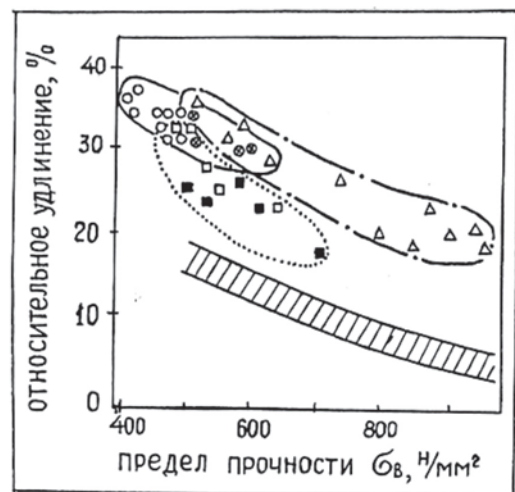


Рис. 1. Співвідношення між межею міцності  $\sigma_B$  та відносним подовженням  $\delta_4$  для різних холоднокатаних сталей

- зміцнення твердого розчину фосфором;
- зміцнення твердого розчину марганцем та кремнієм;
- зміцнення подрібненням зерна, мікрولةгування ніобієм;
- зміцнення подрібненням зерна, мікрولةгування титаном;
- ДФМС;
- зміцнення збільшенням щільності дислокацій.

Максимальна міцність до 1000 МПа належить сталям ДФМС (двофазні мікрولةговані сталі), проте основний масив даних перебуває в діапазоні міцності 400–700 МПа.

На рисунку 2 представлено співвідношення тимчасового опору розриву  $\sigma_B$  та відносного подовження  $\delta_4$  у листових сталях підвищеної міцності [6].



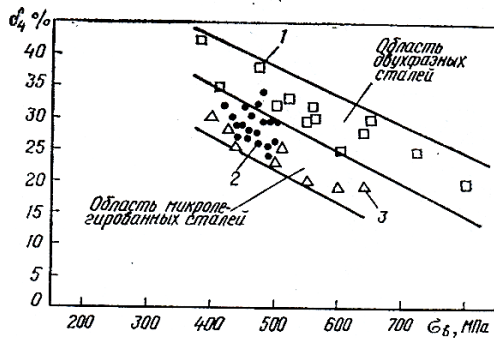


Рис. 2. Співвідношення тимчасового опору розриву  $\sigma_{0.2}$  та відносного подовження  $\delta_4$  у листових сталях підвищеної міцності:

1 – двофазні феритно-мартенситні сталі; 2 – мікролеговані сталі; 3 – дослідна сталь 08ГСЮТ (Ф)

Дані, представлені на рисунках 1 і 2, показують, що сталі ДФМС мають переваги перед іншими СПМ щодо комплексу таких властивостей, як міцність і пластичність [5; 6].

Перевагою ДФМС є не так висока міцність або пластичність (межа міцності від 450 до 1180 МПа й відносне подовження від 10 до 27%), скільки можливість отримання найбільш високого поєднання цих параметрів у порівнянні з іншими варіантами технології отримання низьколегованих сталей, що дає змогу виготовляти із цих сталей деталі складної форми.

ДФМС мають мікроструктуру, що складається з феритної матриці з включеннями мартенситу. Об'ємна частка мартенситу в мікроструктурі становить від 10 до 80% залежно від рівня міцності. Мартенсит забезпечує суттєве зміцнення сталі, тоді як присутність фериту сприяє хорошій пластичності.

У нормативних документах на ДФМС [7; 14], крім вимог до механічних характеристик – межі текучості, межі міцності й відносного подовження, висуваються також вимоги до коефіцієнта деформаційного зміцнення та величини ВН-ефекту.

ДФМС має особливість у порівнянні зі звичайними сталями – ефект термозміцнення – ВН-ефект (Bake Hardening effect, ефект зміцнення при сушінні), який виражається в збільшенні межі текучості після попередньої деформації, унесеної під час штампування, і наступного нагрівання під час сушіння лакофарбового покриття [14].

Набуття вищезгаданих властивостей СПМ відбувається під час термічної обробки, після холодної прокатки або під час загартування після гарячої прокатки.

У 2000-х роках настав другий етап застосування високоміцних сталей, коли були розро-

блені нові типи СПМ, з наступними цинковими покриттями:

- EG – електроцинкове покриття;
- GI – гаряча оцинковка;
- GA – покриття гальваніт (після гарячого цинкування сталь проходить піч для утворення дифузії між цинком та залізом).

При цьому рівень міцності нових сталей виріс. Усі ці нові марки починають називати AHSS – Advanced High Strength Steels, або передові (пронунуті) ВЛС. Загальна кількість марок листових сталей підвищеної міцності там уже вище 50.

В останні роки опубліковані дослідження, де наводяться співвідношення між міцністю й подовженням для цих «передових» ВЛЗ. На рисунках 3, 4 наводяться, наприклад, дві такі діаграми [9] – одна з публікації 2014 року, рис. 3, інша – публікації 2020 року (рис. 4 [9]).

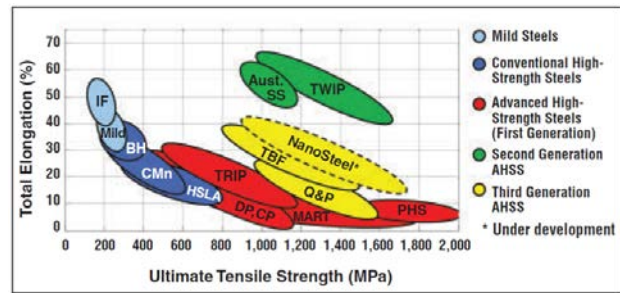


Рис. 3. Діаграма співвідношення між міцністю й подовженням для різних листових сталей

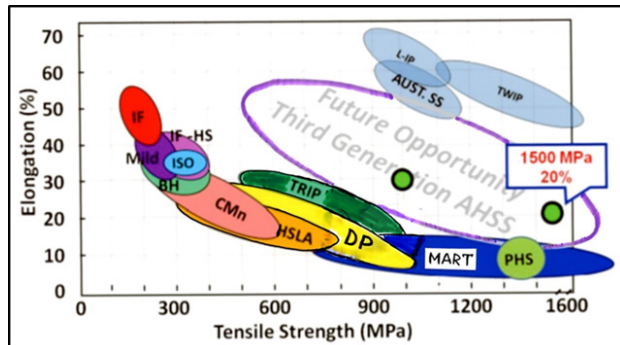


Рис. 4. Діаграма співвідношення між міцністю й подовженням для різних листових сталей

Як видно із цих діаграм, крім відомих раніше сталей, зміцнених твердим розчином (C, Mn), мікролегованих HSLA (НЛС), двофазних сталей (DP) і сталей мартенситного класу (MART), з'явилися нові класи сталей. Розглянемо ці класи сталей (при цьому необхідно уточнити, що позначення нових класів можуть відрізнятися залежно від країни, фірми виробника й інших факторів).

– TRIP (Transformation Induced Plasticity – ТРІП) сталі, де підвищена пластичність забезпечується

за рахунок перетворення залишкового аустеніту в мартенсит під час деформації при штампуванні; цей механізм досить добре відомий та обговорювався ще в 1970-х роках [10]. Основна проблема в цьому випадку полягає в тому, щоб «зберегти» залишковий аустеніт при кімнатній температурі, для цього ці сталі легуються досить великою величиною алюмінію й/або кремнію, що створює суттєві перешкоди для нанесення цинкового покриття. У зв'язку з цим виробництво та застосування цих сталей почалося лише наприкінці 1990-х – на початку 2000-х років. Ці сталі переважно вироблялися й виробляються із «середнім» рівнем міцності – клас міцності 600–800 МПа.

– TWIP (ТВІП) сталі, де підвищена пластичність забезпечується за рахунок «двійникування» в процесі деформації, у результаті створюється унікальна дислокаційна структура [13]. Як видно з рис. 3, пластичність цих сталей найвища – просто унікально висока за дуже високої міцності. Однак отримання таких унікальних властивостей можливе тільки при дуже високому вмісті марганцю (~ 15–30%), що призводить до, по-перше, високої вартості цих сталей, по-друге, серйозних технологічних проблем (наприклад, точкове зварювання); ці сталі застосовувалися в обмежених обсягах деяких фірм, проте широкого поширення вони нині не набули.

– AUST SS – високоміцні листові нержавіючі сталі. До цього часу ці сталі не знаходили практичного застосування в кузовах автомобілів масового виробництва через дуже високу ціну, проте в сьогодні Tesla продовжує працювати над «Кібертраком» (Cybertruck), кузов якого, імовірно, виготовлятиметься з високоміцної нержавіючої сталі (дивися нижче).

– PHS сталі (Press Hardening Steels) – сталі з простим хімічним складом (підвищений вуглець ~ 0,23–0,34%; марганець 0,60–1,20%; кремній 0,20–0,50%; добавка бору ~ 20–30 ppm (ppm = «кількість частинок на мільйон»), трохи хрому ~ 0,20–0,35%), що проходять через лінію гарячого алюмінію на металургійному заводі; далі в пресовому виробництві у виробника заготівлі нагріваються вище  $A_c^3$  (зазвичай вище ~ 900°C) і далі з них формують у гарячу деталі будь-якої складності, після чого різке охолодження (загартування) водою; у результаті отримують міцність деталі, як у сталі мартенситного класу. Алюміній на поверхні потрібен, щоб запобігти корозії після загартування деталі; тепер під час використання цих сталей отримують деталі двох класів міцності – 1500 і 2000 МПа.

На діаграмі рис. 4 виділена велика ділянка, позначена як Future Opportunity Third Generation of AHSS (передові ВЛЗ третього покоління в майбутньому). Поєднання високої пластичності при високій міцності в цих сталях забезпечується багатофазною мікроструктурою в поєднанні деяких марок таких сталей із дуже дрібною структурою. Структура цих сталей, як правило, включає відпущений мартенсит, бейніт і залишковий аустеніт із невеликою кількістю фериту. Відпущений мартенсит і бейніт забезпечують міцність, а залишковий аустеніт – пластичність унаслідок ефекту ТРІП при штампуванні. Іноді в цих сталях є й невідпущений мартенсит, обсяг якого, однак, повинен контролюватися, щоб не допустити падіння такого важливого для штампування параметра, як «роздача отвору». Маркування та позначення сталей, що відносяться до цієї ділянки, різні – це й HF сталі (High Formability – висока формованість), MP (Multiphase – багатофазні) сталі, CP (Complex phase) сталі, часто це маркування залежить від виробника. Сюди включають NanoSteel, рис. 3, – сталі із супердрібною структурою. Також іноді виділяють TBF сталі (рис. 3) – це ТРІП сталі з поєднанням бейніту й фериту. Для отримання оптимального поєднання вищезазначених фаз останнім часом на передових металургійних заводах у процесі безперервного віджигу використовують технологію Q&P (Quenching and Partitioning – загартування та перерозподіл). Суть цієї технології полягає в тому, що сталь після віджигу швидко охолоджується (Quenching) нижче від точки  $M_s$  (точка початку утворення мартенситу), потім нагрівається вище цієї точки й витримується при вибраній температурі (Partitioning) для перерозподілу вуглецю [14; 15]. Як видно з діаграми рис. 3, оптимальна структура таких сталей може забезпечити подовження вище 20% при міцності 1500 МПа. Назвемо ці сталі «третього покоління» як високоміцні листові сталі високої пластичності (ВЛСВП).

Накопичений досвід виробництва та застосування СПМ виявив низку обмежень, пов'язаних із їх використанням.

Головне обмеження – це знижена пластичність, включаючи подовження, що призводить до зниження штампування (зокрема роздачі отвору). Це передбачає зміну геометрії кузовних деталей, що штампуються, застосування технологічних заходів для поліпшення штамповки.

На стані гарячої прокатки можна отримати лише товстолистовий гарячекатаний прокат, а в АБВ лише тонкий холоднокатаний.

При виробництві СПМ потрібна додаткова витрата легуючих елементів; жорсткий контроль режиму прокатки й високий рівень контролю хімічного складу (локальні відхилення в умісті вуглецю та зміна режимів охолодження на вихідному рольгангу стану гарячої прокатки можуть призвести до отримання неоднорідної мікроструктури, отже, нестабільних механічних властивостей по довжині смуги).

Двофазні сталі (з певним рівнем властивостей міцності), як правило, мають більш високу вартість у порівнянні зі звичайними сталями підвищеної міцності, якщо не рахувати тих випадків, коли двофазні сталі отримують на основі маловуглецевих із використанням високих швидкостей охолодження, тоді їх вартість наближається до вартості сталей типу HSLA.

Одним із обмежень при використанні сталей підвищеної міцності (високоміцних сталей) як заміників звичайних сталей у конструкції кузова автомобіля є зниження жорсткості, пов'язане зі зменшенням геометричних розмірів деталей.

Іншою проблемою є корозійна стійкість. Уважається, що агресивна дія навколишнього середовища при експлуатації автомобіля однакова як для звичайних, так і для СПМ.

Незважаючи на зазначені недоліки, застосування високоміцних сталей з точки зору економічності доцільності має перевагу над іншими «легкими» матеріалами, наприклад, перед алюмінієвими сплавами та пластичними масами. По-перше, вони дають змогу витратити мінімальні кошти для зменшення одиниці маси автомобіля. За оцінками американських фахівців, деформовані алюмінієві сплави можуть дати зменшення маси деталей одного автомобіля на 50%, проте при цьому витрати становитимуть понад 1 долар США на фунт (одиниця виміру маси в системі англійських заходів – 1 фунт = 0,45359237 кг) «зеконмленої» маси [17]. При використанні для

цих цілей високоміцних сталей зниження маси становить 10–15% на один автомобіль (залежно від необхідного рівня міцності), а витрати на «зеконмлений» фунт маси не перевищать 25 відсотків.

Саме тому в США відсоток високоміцних сталей, що застосовуються в автомобілебудуванні, з 1985 року збільшився приблизно в 2 рази й до 2000 року досяг 20% від загальної маси автомобіля, а в Японії виробництво високоміцних сталей до 2010 року доведено до 70%.

Друга важлива перевага високоміцних сталей, завдяки чому вони ширше впроваджуються в автомобільне виробництво, полягає в тому, що вони не вимагають значних змін технології їх виробництва та заміни обладнання.

**Висновки.** Проведений аналіз показав, що, незважаючи на перелічені недоліки, перспектива використання сталей підвищеної міцності в автомобілебудуванні очевидна, що підтверджується зростанням їх споживання. Так, у період 1995–2013 років використання листових холоднокатаних сталей підвищеної міцності в галузі зросло в США у 2,4 рази, Японії – у 4,6 рази.

Використання СПМ дає змогу знизити собівартість продукції, збільшити довговічність деталей автомобілів і, як наслідок, зменшити витрати на ремонт.

Очевидно, що без СПМ неможливо виконати сучасні вимоги до пробігу автомобілів на одиницю об'єму палива, які постійно посилюються (наприклад, якщо в Америці зараз ця вимога 40 миль на галон, то у 2026 році планується 52 миль на галон).

У роботі встановлено, що на сьогоднішньому етапі розвитку виробництва поєднувати високу пластичність сталі з підвищенням міцності навряд чи можливо, тому подальші дослідження пропонується направити на розробку технологічних заходів, які дадуть змогу підвищити штампування листових сталей підвищеної міцності.

#### Список літератури:

1. ACEA Report of February 1, 2021. URL: <https://www.acea.auto/cv-registrations/commercial-vehicle-registrations-3-3-first-two-months-of-2021-1-2-in-february> (дата звернення: 10.12.2021).
2. World Steel Association. “Steel in Automotive”. Accessed June 13, 2020.
3. Филиппов М.А., Ямщиков А.В. Новые материалы и технологии для автомобилестроения. *Композитный мир*. 2015. № 3. С. 263–268.
4. Гаврилова В.Г., Помазков М.В., Караваева Н.Е. Анализ возможности применения различных материалов для изготовления деталей кузовов в практике автомобилестроения. *Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2015. № 31. С. 42–50.
5. Якубовский О.Н. Технологические и эксплуатационные свойства листовых сталей повышенной прочности и их внедрение в автомобилестроении : дисс. ... канд. тех. наук : 05.16.01. Москва, 1989. 212 с.
6. Технологические свойства тонколистовой стали повышенной прочности / В.К. Белосевич, М.Л. Дробинский, В.Б. Рудасёв, О.Н. Якубовский. *Технология автомобилестроения*. 1983. № 2. С. 7–9.



7. Голованенко С.А., Фонштейн Н.М. Двухфазные низколегированные стали. Москва : Металлургия, 1986. 207 с.
8. CAFÉ (Corporate Average Fuel Economy) standard, USA. URL: <https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy/> (дата звернення: 10.12.2021).
9. Demeni M.Y. Advanced High Strength Steels: Science, Technology, and Applications. ASM International, USA, 2013.
10. Fonstein N. Effects of Microstructure Refinement and Retained Austenite Stability on Properties of AHSS. MS&T20 Conference, Pittsburgh, USA, October 4–8, 2020.
11. Olson G.B., Azrin M. Transformation Behavior of TRIP steels. *Metallurgical Transaction A*. 1978. Volume 9A.
12. Bruno C. De Cooman, Yuri Estrin. Sung KyuKimd. Twinning-induced plasticity (TWIP) steels. *Acta Materialia*. 2018. Volume 142. P. 283–362.
13. Beardmore P. The potential for high strength steels in the U.S. automotive industry. *Material in Engineering*. 1981. Volume 2. № 5. P. 250–259.
14. Austenite Formation and Decomposition (Q&P) / J.G. Speer, A.M. Streicher, D.K. Matlock, F.C. Rizzo, G. Krauss ; E.B. Damm and M. Merwin, eds. TMS/ISS, Warrendale, PA, 2003. P. 505–522.
15. Santofimia M.J., Zhao L., Sietsma J. Overview of Mechanisms Involved During the Quenching and Partitioning Process in Steels. *Metallurgical and materials transactions a*. 2011. Volume 42a.
16. Беньковський М.А., Масленников В.А. Автомобильная связь и тонкий лист. Череповец : Издательский дом «Череповец», 2007. С. 454–461.
17. Demeni M. Y. Advanced High Strength Steels: Science, Technology, and Applications, ASM International, 2013.
18. Nina Samodajev (MSc Materials Science). Advanced High Strength Steel (AHSS) for Stronger, Lighter and Safer Cars, Blog Matmatch, June 3, 2019.
19. Miklós Tisza. Development of Lightweight Steels for Automotive Applications. Grant No. AutoTech-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029, Published : February, 14th 2020.
20. Bachman K., Lightweighting still dominates, Great Designs in Steel seminar, March 2018.
21. EN 10346-2009 Continuously hot-dip coated steel flat products. Technical delivery conditions, 2013. P. 37.

#### **Rudasov V.B., Yakubovskiy O.M., Holovina O.V. CURRENT TRENDS IN THE USE OF HIGH STRENGTH STEEL IN AUTOMOBILE BUILDING**

*The paper discusses the current status of production and application of sheet High Strength Steels (HSS) in automobile industry. Different stages of HSS development and application can be seen starting as early as 1970s up to current days. The major reason of HSS application is to achieve cars weight reduction by using sheet steel with lighter gauge, and the increase in strength is important to guarantee safety of the vehicles during car accidents. While the sharp increase in gasoline cost was the major driving force of the cars weight reduction in 1970s, the importance of car pollution reduction by car weight reduction has been constantly increasing. The constant fight to increase the plasticity (elongation) of the steel at constantly increased strength resulted in significant increase in HSS application in recent years. While HSS was used to manufacture mostly simple car parts in the beginning of HSS development, they have been used today for much more complicated car body parts. The different strengthening mechanisms which can be used in the sheet steel are discussed, in particular: solid solution strengthening; precipitation hardening; structure refinement (grain sizes of ferrite and/or martensite); addition of the second phase – martensite or bainite. It is obvious that several different strengthening mechanisms are typically used in HSS simultaneously, and some of them can be enhanced or suppressed by others. While some limits and disadvantages in HSS applications are shown, nevertheless HSS application is the best and cheapest way to guarantee car safety in combination with the weight reduction. The application of HSS in comparison with other “light” materials such as aluminum and plastic is cheaper and doesn't require significant changes in the car manufacturing technology. It is proposed to focus on improvements in forming and stamping processing of HSS in future investigations.*

**Key words:** High Strength Steels, automobile industry, stamping processing.