

SECTION 2. MATERIALS SCIENCE

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-612-6-4>

RESEARCH INTO THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEELS IN ORDER TO DETERMINE SUBSTITUTES FOR 09G2S STEEL IN THE CONTEXT OF TRANSITION TO EUROPEAN STANDARDS

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ЗАДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАМІННИКІВ СТАЛІ 09Г2С В УМОВАХ ПЕРЕХОДУ НА ЄВРОПЕЙСЬКІ СТАНДАРТИ

Bahrov O. M.

*Candidate of Engineering Sciences,
Head of the research laboratory,
State Enterprise “Ukrainian Scientific
Railway Car Building Research
Institute”
Kremenchuk, Poltava region, Ukraine*

Багров О. М.

*кандидат технічних наук,
завідувач науково-дослідної
лабораторії,
Державне підприємство
«Український науково-дослідний
інститут вагонобудування»
м. Кременчук, Полтавська область,
Україна*

Khozia P. O.

*Candidate of Engineering Sciences,
Senior Researcher,
Head of the research laboratory,
State Enterprise “Ukrainian Scientific
Railway Car Building Research
Institute”
Kremenchuk, Poltava region, Ukraine*

Хозя П. О.

*кандидат технічних наук, старший
дослідник,
завідувач науково-дослідної
лабораторії,
Державне підприємство
«Український науково-дослідний
інститут вагонобудування»
м. Кременчук, Полтавська область,
Україна*

Popova T. V.

*Candidate of Engineering Sciences,
Head of the Research Group,
State Enterprise “Ukrainian Scientific
Railway Car Building Research
Institute”
Kremenchuk, Poltava region, Ukraine*

Попова Т. В.

*кандидат технічних наук,
завідувач науково-дослідної групи,
Державне підприємство
«Український науково-дослідний
інститут вагонобудування»
м. Кременчук, Полтавська область,
Україна*

Вступ та постановка проблеми. Постійний розвиток інфра-
структури та транспортного машинобудування, з одного боку, та

інтеграція українського промислового виробництва в європейське середовище, з іншого, вимагають уніфікації матеріало-технічних стандартів. Сталь 09Г2С є основною низьколегованою конструкційною сталлю, що її широко застосовують під час виготовлення продукції вагонобудування, а саме хребтових балок, рам і балок візків пасажирських вагонів, обв'язок, стінок та інших елементів кузова вагона. У зв'язку із втратою основного постачальника вищезазначеної сталі в Україні та відсутністю можливості її закупати за кордоном, перед вітчизняними підприємствами вагонобудівної галузі постає гостра потреба у пошуку європейських аналогів сталі цієї марки. Водночас виникає питання, чи здатні сучасні європейські сталі з підвищеною міцністю ефективно замінити 09Г2С без втрати експлуатаційних властивостей з урахуванням технологічності, вартості та вимог безпеки під час експлуатування за низьких температур.

Мета – на підставі аналізу результатів комплексних досліджень хімічного складу та фізико-механічних властивостей матеріалу обґрунтувати та вибрати марки сталі, які можна використовувати як еквівалент сталі 09Г2С у конструкціях, що їх експлуатують в умовах, характерних для України, з урахуванням вимог європейських стандартів.

Аналіз останніх досліджень. У статті [1] розглянуто вплив високо-частотного механічного оброблення на втомну міцність зразків зі сталі марок 09Г2С і S355J2+N. Автори зазначають, що сталь S355J2+N, як «типову» європейську марку сталі, доволі широко застосовують в Україні, що робить її перспективним варіантом для заміни.

Робота [2] присвячена корозійній поведінці сталі Q450NQR1 та її міцності після пришвидшеного старіння. Дослідження свідчать, що сталь Q450NQR1 є високоміцною конструкційною маркою з підвищеною стійкістю до впливу навколишнього середовища.

У статті [3] проаналізовано, як під час зварювання сталі Q450NQR1 з використанням низькочастотного механічного оброблення змінюється мікроструктура зони зварного шва й зона термічного впливу. Результати: у разі збільшення частоти вібрацій спостерігається зменшення часу охолодження зварного шва, підвищення дроблення дендритної структури, зростання частки фериту та загальне поліпшення ударної в'язкості зони шва. Це важливо, оскільки зварюваність і ударна в'язкість за низьких температур – ключові характеристики для вагонобудівної продукції.

Таким чином численні статті й технічні звіти (вітчизняні та європейські) присвячено порівнянню механічних властивостей конструкційних сталей. У роботах з металознавства наголошують, що пряме порівняння властивостей має враховувати не лише номінальні значення, а й дис-

персію результатів, статистичну надійність і вплив технології виготовлення.

Матеріал та результати досліджень. Під час досліджування було визначено марки сталі, які за своїми нормативними показниками хімічного складу та фізико-механічних властивостей найближчі до сталі 09Г2С за ДСТУ 8541:2015 [4]. Такими марками сталі виявились сталь S355J2+N за ДСТУ EN 10025-2:2022 [5], ідентичним європейському стандарту, та сталь Q450NQR1 за китайським галузевим стандартом ТВ/Т 1979-2014 [6].

За критерії для порівняння взято показники:

- 1) хімічний склад;
- 2) міцність під час випробування за згин;
- 3) міцність під час випробування на розтяг;
- 4) ударна в'язкість за кімнатної та зниженої температур.

Визначення показників проведено стандартизованими методами, зазначеними в ДСТУ 8919:2019 [7], ДСТУ ISO 7438:2005 [8], ДСТУ ISO 6892-1:2019 [9], ДСТУ ISO 148-1:2022 [10].

Отримані результати механічних випробувань свідчать про таке:

– сталь 09Г2С характеризується оптимальним поєднанням міцності й пластичності, високою зварюваністю завдяки помірному вмісту вуглецю та підвищеному вмісту марганцю, а також задовільною ударною в'язкістю в широкому діапазоні температур, що забезпечує можливість застосування в різних кліматичних умовах;

— сталь S355J2+N демонструє дещо вищі показники міцності та кращу пластичність, є найближчим функціональним еквівалентом для загальних конструкційних застосувань; водночас має трохи нижчі верхні значення міцності за кімнатної температури порівняно з маркою сталі 09Г2С, при цьому забезпечує прийнятну ударну в'язкість за низьких температур;

– сталь Q450NQR1 відзначається значно вищою міцністю за дещо зниженої пластичності, що робить її придатною для елементів із підвищеними навантаженнями. Водночас вона потребує врахування особливостей зварюваності та ризику локальної крихкості. Високі значення ударної в'язкості роблять цю марку перспективною для деталей, що працюють під динамічними навантаженнями, однак наявний розкид результатів вимагає подальшої статистичної перевірки та контролю технологічних параметрів виробництва.

Таким чином, зіставлення отриманих результатів показує, що сталь Q450NQR1 може поєднувати високу міцність та ударну в'язкість за умови оптимального мікрولةгування та контролю термомеханічного оброблення. Сталь Q450NQR1 домінує за показниками тимчасового опору та ударної в'язкості завдяки мікрولةгувальним елементам

(Ni, Cr, Cu). Це робить її придатною заміною там, де конструкційна маса має бути зменшена завдяки підвищеній міцності або де очікуються значні динамічні навантаження. Однак для сталі Q450NQR1 можливе погіршення зварюваності у разі підвищеного вмісту легувальних елементів, тому вона має потребу в контролі теплового режиму зварювання та специфічні вимоги до термооброблення.

Сталь S355J2+N є стабільнішим і передбачуванішим заміником у типових конструкціях і має технологічну спрямованість, подібну до сталі 09Г2С.

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено, що сталі марок S355J2+N і Q450NQR1 мають властивості не гірші за властивості сталі марки 09Г2С та їх можна застосовувати під час виготовлення елементів кузова вагона.

Рекомендовано під час виготовлення великих вузлів кузова вагона, як-от рама й балка візка пасажирського вагона, хребтова та шворнева балки, відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 15.902:2017 [11] проводити типові випробування зразків продукції.

Література:

1. Knysh V. V., Mordyuk B. N., Solovei S. O., Savitsky V. V., Mikhodui O. L., Lesyk D. A., Motrunich S.I. HFMI-induced fatigue strength improvement of S355 steel transverse non-load-carrying attachments with lack of fusion in the weld root. *Materials & Design*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2024.108147>
2. Zeng Y., Zhang C. Corrosion and mechanical behavior of a new Q450 weathering steel. *Journal of Constructional Steel Research*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2024.109180>
3. Liu Y. et al. Effect of mechanical vibration on microstructure and impact properties of gas metal arc welding Q450NQR1 welded joints. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2024.105371>
4. ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.
5. ДСТУ EN 10025-2:2022 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей (EN 10025-2:2019, IDT). [Чинний від 2023-09-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 34 с.
6. TB/T 1979-2014 Atmospheric corrosion resisting steel for railway rolling stock [Implemented on 2015-03-01]. State Railway Administration, 2014. 13 p.

7. ДСТУ 8919:2019 Сталь. Метод фотоелектричного спектрального аналізу. [Чинний від 2021-01- 01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 25 с.

8. ДСТУ ISO 7438:2005 Матеріали металеві. Випробування на згин (ISO 7438:1985, IDT). [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 11 с.

9. ДСТУ ISO 6892-1:2019 Металеві матеріали. Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури (ISO 6892-1:2016, IDT). [Чинний від 2020-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 70 с.

10. 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. 25 с.

11. ДСТУ ГОСТ 15.902:2017 Система розроблення та постановлення продукції на виробництво. Залізничний рухомий склад. Порядок розроблення та постановлення на виробництво (ГОСТ 15.902-2014, IDT). [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 34 с.