

УДК 629.463.001.63

**ПРОЦЕДУРА ПРАВКИ ТЕХНОЛОГІЧНО-ДЕФОРМОВАНИХ ВАГОННИХ  
МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО  
НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТЕРМІЧНИМ ВПЛИВОМ**

**Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В.**

**THE PROCEDURE FOR STRAIGHTENING TECHNOLOGICALLY DEFORMED  
CARLOAD METAL STRUCTURES BY CREATING AN INTERNAL STRESS  
STATE BY THERMAL INFLUENCE**

**Fomin O., Logvinenko O., Burlutskiy O.**

*Відмічена важлива роль залізничного транспорту в транспортній системі країни. Обґрунтована актуальність підвищення надійності вітчизняного парку вантажних вагонів. Зазначено, що в розвитку вагонобудування важливу роль відіграє зварювальне виробництво, як один з провідних технологічних процесів у створенні зварних вагонних металоконструкцій, застосування яких забезпечує значну економію матеріалів та трудових ресурсів. Розглянуто описання, а також переваги та недоліки існуючих методів правки, які дозволяють відновити геометричні форми металоконструкцій після зварювання. Обґрунтована доцільність застосування методу прогрівання «клинів» при правці балки хребтової напіввагону. Наведено послідовність реалізації цього методу.*

**Ключові слова:** залізничний транспорт, вагонобудування, технологічно-деформована вагонна металоконструкція, правка термічним впливом, місцеве нагрівання, метод прогрівання «клинів».

**Вступ.** Українська мережа залізниць є однією з найбільш розвинутих серед європейських країн. Вона займає провідне місце за обсягами перевезень та відіграє важливу транзитну роль на Євразійському континенті. Залізничний транспорт є базовою галуззю національної економіки та основою її транспортної системи, забезпечує понад дві третини загального вантажо- та пасажирообігу. У подальшому, враховуючи вимоги Європейського Союзу щодо необхідності зменшення шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє природне середовище, питома вага залізничних перевезень збільшуватиметься. У відповідності до Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1555-р, підвищення надійності вітчизняного парку вантажних вагонів є актуальною та комплексною проблемою,

вирішення якої потребує розв'язання наступних основних завдань: розробка та створення більш досконалої їх конструкції; удосконалення технології виробництва, удосконалення систем ремонту та технічного обслуговування; використання в експлуатації сучасних високоефективних пристроїв контролю технічного стану вагонів та підвищення їх довговічності.

Великого значення в розвитку вагонобудування набуває зварювальне виробництво, як один з провідних технологічних процесів у створенні зварних конструкцій, застосування яких забезпечує значну економію матеріалів та трудових ресурсів. Успіхи зварювальної науки і техніки дозволили здійснити справжній переворот у вагонобудуванні, створити принципово нові, конкурентоспроможні, високоекономічні конструкції вагонів в яких в багато разів підвищено продуктивність праці при їх виготовленні [1 - 3].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показав, що в даний час зварювання є основою для виготовлення металоконструкцій вантажних та пасажирських вагонів і значною мірою визначає їх надійність та довговічність.

У порівнянні з іншими типами нероз'ємних з'єднань переваги зварювання очевидні, але високотемпературне нагрівання при цьому технологічному процесі викликає зміну як фізичних так і механічних характеристик матеріалу зварювальних конструкцій. Також в зварному елементі виникають післязварювальні залишкові напруження та деформації, які можуть суттєво знижувати якість зварних металоконструкцій. Причинами їх виникнення є нерівномірне нагрівання зварювального елемента, усадка розплавленого металу шва та структурні перетворення в зоні навколо шва.

Проблема внутрішніх та залишкових напружень, що виникають при нагріванні металу в процесі зварювання, вперше була окреслена російським металургом Н.В. Калакуцьким ще у 1887 році. Зокрема в своїй праці "Исследование внутренних напряжений в чугунах и сталях", ним було відмічено, що такі напруження мають широкий діапазон меж. Таким чином проєктувальник обов'язково повинен враховувати їх та зазначати надійні способи керування та контролю над ними.

Основною причиною їх появи є утворення так званої зони термічного впливу або зони пластичних деформацій. Тому дослідження закономірностей формування зони термічного впливу та причин її виникнення, вивчення залишкових деформацій і переміщень, розробка методів регулювання і керування ними для сучасного вагонобудування є надзвичайно актуальними. Також відомо, що залишкові зварювальні напруження підвищують накопичену в конструкції потенційну енергію, що в свою чергу посилює негативні наслідки втомленого руйнування [4, 5], а в умовах експлуатації залишкові деформації і напруження зменшують міцність, корозійну стійкість та точність зварної конструкції. Традиційні методи їх зниження до яких відносять збільшення товщини металу, проведенням стабілізуючої обробки післязварних робіт, видалення припусків не завжди відповідають сучасним вимогам до праце-, енерго- і металоємності конструкцій.

У зв'язку з тим, що жоден з існуючих способів зварювання не забезпечує гарантованого бездефектного зварного з'єднання, в останні роки велика увага у всьому світі приділяється післязварювальним методам обробки зварних з'єднань, а саме методам правки, які дозволяють відновити геометричні форми деталей після зварювання.

**Метою статті** є розгляд процедури правки технологічно-деформованих вагонних металоконструкцій шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В даний час існує досить багато методів правки на фініші виготовлення металоконструкцій. До них відносять загальну або локальну термообробку, а також відповідну механічну обробку прокаткою, ударним пневматичним інструментом, ударно-ультразвукову обробку, активне навантаження, холодне та гаряче деформування та ін.

Відповідно до нормативної документації технологічно-деформовані вагонні металоконструкції, з метою забезпечення їх міцності, піддають механічній (холодній) або термічній правці [3, 6, 7].

Фізична сутність процедури холодної правки полягає у деформуванні металоконструкцій пластичним згинанням при звичайній температурі, яке дозволяє усунути їх викривлення, а саме надати їм прямолінійної форми. При цьому правку виконують за допомогою пресів, домкратів, вальців або в ручну ковальським інструментом. Пластичне деформування деталей в холодному стані вимагає великих зов-

нішніх зусиль, тому за допомогою цієї процедури відновлюють деталі з кольорових металів та їх сплавів, а також сталеві деталі з вмістом вуглецю до 0,3%, що не піддавалися термічній обробці. На даний час холодна правка технологічно-деформованих вагонних металоконструкцій є найбільш простою і поширеною процедурою однак вона часто не забезпечує стабільної форми виправлених деталей і в процесі експлуатації усунена правкою деформація може виникнути знову. Причина нестійкої форми виправлених деталей при холодній правці пояснюється неоднорідністю залишкових напружень, що виникають в результаті нерівномірного деформування металу. Окрім цього погіршуються властивості основного металу, а саме: знижується ударна в'язкість та у зв'язку з виникненням наклепу в результаті деформування підвищується межа текучості металу. Також внаслідок наклепу виникає неоднорідність механічних властивостей, яка знижує статичну та втомну міцність металоконструкції. В той же час у зв'язку з тим, що пристрої для холодної правки являють собою громіздке стаціонарне обладнання її застосування зазвичай обмежено конструктивними і геометричними характеристиками пресів.

Традиційним способом стабілізації форми технологічно-деформованих вагонних металоконструкцій є механічна правка але однією з найбільш раціональних з точки зору зниження залишкових деформацій і стабілізації структури є процедура правки термічним впливом, за допомогою якої їх виправлення здійснюється за рахунок пластичних деформацій, які виникають при місцевих високотемпературних нагрівах металу газовою горілкою. Це пояснюється тим, що при нагріванні виробу до температури, яка складає 0,8–0,9 температури плавлення, зусилля пластичного деформування зменшуються в 12–15 разів без істотних змін фізико-механічних властивостей металу. Порівняно з процедурою холодної правки процедура правки термічним впливом не потребує ніякого спеціального обладнання, окрім звичайного газового зварювального апарату. Однак термічна правка залишається все ж таки трудомісткою операцією, оскільки виконується вручну і вимагає високої кваліфікації правильників, які повинні враховувати вплив багатьох параметрів, які спільно відбиваються на результаті правки.

Одним з найбільш економічно-доцільних методів правки термічним впливом технологічно-деформованих вагонних металоконструкцій, як показав аналіз наукової літератури, є метод термічної правки з місцевим нагріванням [1, 7–9]. Основною перевагою цього виду правки є її універсальність, тобто з її допомогою можливо виправити будь-яку зварювальну металоконструкцію, яка має складну конфігурацію та габарити (наприклад хребтову балку напіввагону). Термічна правка полягає в нагріванні відповідних ділянок зварювальної конструкції з подальшим їх охолодженням. При температурі нагрівання деформованої ділянки, яка коливається в

межах  $750-850^{\circ}\text{C}$ , нагріта ділянка прагне розширитися, але навколишній холодний метал обмежує цю можливість, в результаті чого виникають пластичні деформації стискання. Після охолодження лінійні розміри нагрітої ділянки зменшуються, що призводить до зменшення або повного усунення деформацій.

Також слід зазначити, що термічна правка з місцевим нагріванням може бути виконана практично у всьому діапазоні робіт по виправленню вертикального прогину елементів несучих систем вагонів (зокрема балки хребтової) та грибовидності кузова, в той час як холодна правка має області, коли її здійснення неможливе. Таким чином, потенційні можливості термічної правки вище, ніж холодної. В той же час використання термічної правки з місцевим нагріванням пов'язано з виконанням наступних етапів: виявлення деформацій, які виникають в конструкції; вимірювання величин цих деформацій та розкладання складних деформацій на прості; в залежності від характеру та величини деформацій встановлення розташування, форми, розміру та режиму нагрівання; за необхідністю застосування попередньої пружної деформації; застосування нагрівання, а потім повного охолодження конструкції. З усіх вищенаведених етапів особлива увага приділяється вибору форми та розмірів нагріву. За існуючою класифікацією форм нагрівання, що застосовуються, розрізняють наступні: нагрівання точками, які розташовані за концентричними колами; кругове нагрівання по кільцю; кругове нагрівання по спіралі; нагрівання половою або кружками, які розташовані один за одним в один ряд; нагрівання з використанням трикутників («клинів»); використання «клинів нагріву» в комбінації з половою нагріву; застосування «хреста нагріву» в комбінації з половою нагріву [10, 11]. Кількість полос, пятен, трикутників нагріву підбирається таким чином, щоб остаточні пластичні деформації от нагрівання зменшували існуючі деформації до допустимих величин.

З аналізу існуючих форм нагрівання приходимо до висновку, що згинаючий момент, необхідний для вирівнювання металоконструкцій, можна отримати використовуючи повздовжнє, або поперечне скорочення металу. Прикладом використання повздовжнього скорочення металу при місцевому нагріванні є форма нагріву половою. В свою чергу поперечне скорочення металу використовується при застосуванні форми нагрівання у вигляді «клина», який збільшується по мірі наближення до опуклого боку елемента, що деформується. Встановлено, що у випадку виконання процедури правки технологічно-деформованих вагонних металоконструкцій шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом доцільно використовувати поперечне скорочення металу та форму нагрівання у вигляді «клина».

Для правки технологічно-деформованої балки хребтової напіввагону, яка показана на рис. 1, авторами було запропоновано використання теплової бе-

зударної правки, яка отримала назву методу прогрівання «клинів» і реалізується шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом. Цей метод передбачає прогрів трикутників («клинів») рис. 2 на зетових профілях рис. 3.

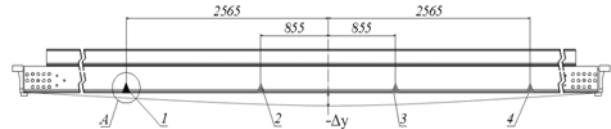


Рис. 1. Балка хребтова з місцями для прогрівання методом «клинів»

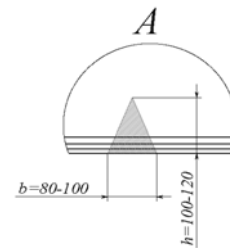


Рис. 2. «Клин»

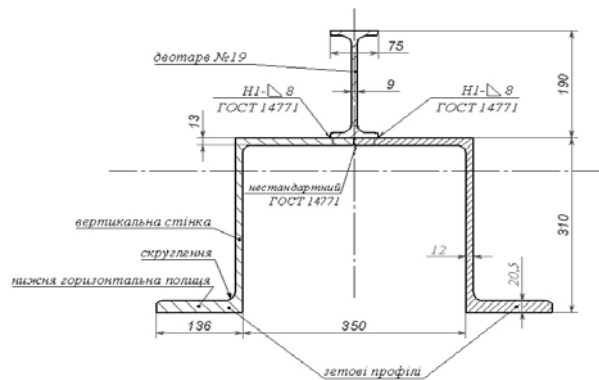


Рис. 3. Поперечний переріз балки хребтової

Процедура правки технологічно-деформованої балки хребтової напіввагону з використанням вищезазначеного методу реалізується наступним чином. Два гозорізчики одночасно та симетрично за допомогою нагрівального обладнання (при термічній правці нагрів проводиться газокисневим полум'ям або електричною дугою) виконують прогрівання рівнобічних трикутників («клинів») (рис. 2) на зетових профілях (рис. 1, місця 1-4), до набуття вишнево-червоного – вишневого кольору сталі у зоні прогріву, тобто прогривають відповідні зовнішні частини нижньої горизонтальної полиці, скруглення та вертикальної стійки зетових профілів (рис. 3). Після виконання процесу прогрівання усіх клинів балку хребтову залишають для остигання у виробничому приміщенні. Після остигання на балці спостерігається вертикальне додатне переміщення середніх точок до вирівнювання її поздовжньої вісі з горизонталлю, або навіть вертикальний вигин угору (допускається технічною документацією до 10 мм).

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Застосування запропонованого технічного рішення, а саме використання процедури тепло-

вої безударної правки, яка полягає в створенні внутрішнього напруженого стану за рахунок термічного впливу, дозволить отримати стійку форму виправлених технологічно-деформованих вагонних металлоконструкцій та уникнути погіршення властивостей їх основного металу. Також наведені в статті матеріали можуть бути використані фахівцями в галузі вагонобудування при виконанні технологічних операцій при створенні або модернізації вагонів.

#### Література

1. Фомін О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
2. Фомін О.В. Аналіз експлуатаційних пошкоджень кузовів залізничних напіввагонів / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, В.В. Фомін // Будівництво України: науково-виробничий журнал. – 2013. – №3. – С. 37-48.
3. Шляпин В.Б. Ремонт вагонів сваркой / В.Б. Шляпин, А.Ф. Павленко, В.Ю. Емельянов // Справочник. – М.: Транспорт, 1983. – 246 с.
4. **Фомін О.В.** Особливості методики визначення втомної довговічності напіввагону з урахуванням експлуатаційних ушкоджень / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х., 2013. – Вип. 2/7. – С. 12-16.
5. Биргер И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М.: Транспорт, 1983. – 232 с.
6. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения / В.А. Винокуров. – М.: Машгиз., 1963. – 235 с.
7. Бурлуцький О.В. Застосування математичного моделювання процесів правки при виготовленні елементів напіввагонів / О.В. Бурлуцький, О.А. Логвиненко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту (серія «Транспортні системи і технології»). – Київ: ДЕТУТ, 2016. – № 28. – С. 110-123.
8. Бурлуцький О.В. Визначення зварювальних деформацій які виникають під час життєвого циклу напіввагона / О.В. Бурлуцький, Н.С. Кочешкова // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту (серія «Транспортні системи і технології»). – Київ: ДЕТУТ, 2015. – № 26-27. – С. 92-101.
9. Burlutskiy O.V. Application methods changes plastic deformation after welding sill gondola cars / O.V. Burlutskiy // Metallurgical and mining industry (Machine building). – Dnipropetrovsk, 2015. – No.10. – P. 190-197. ([www.metaljournal.com.ua](http://www.metaljournal.com.ua)).
10. Веретник Л.Д. Правка сварных конструкций / Л.Д. Веретник. – Харьков: Прапор, 1966. – 52 с.
11. Речкалов С.Д. Напряжённо-деформированное состояние сварных элементов кузова вагона для сыпучих металлургических грузов с учётом температурных воздействий: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Речкалов Сергей Дмитриевич; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. – М., 1987. – 295 с. – Библиогр.: с. 174-186.
- V.V. Fomin // Budivnyctvo Ukrainy: naukovo-vyrobnychij zhurnal. – 2013. – №3. – С. 37-48.
3. Shljapin V.B. Remont vagonov svarkoj / V.B. Shljapin, A.F. Pavlenko, V.Ju. Emel'janov // Spravochnik. – M.: Transport, 1983. – 246 s.
4. Fomin O.V. Osoblyvosti metodyky vyznachennja vtomnoi' dovgovichnosti napivvagonu z urahuvannjam ekspluatacijnyh ushkodzen' / O.V. Fomin, O.V. Burluc'kyj // Shidno-Jevropejs'kyj zhurnal peredovyh tehnologij. –H., 2013. – Vyp. 2/7. – S. 12-16.
5. Birger I.A. Ostatochnye naprjazhenija / I.A. Birger. – M.: Transport, 1983. – 232 s.
6. Vinokurov V. A. Svarochnye deformacii i naprjazhenija / V.A. Vinokurov. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 235 s.
7. Burlutskiy O.V. Zastosuvannja matematychnogo modeljuvannja procesiv pravky pry vygotovlenni elementiv napivvagoniv / O.V. Burlutskiy, O.A. Logvinenko // Zbirnyk naukovykh prac' Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universytetu transportu (serija «Transportni systemy i tehnologii»). – Kyi'v: DETUT, 2016. – № 28. – S. 110-123.
8. Burlutskiy O. V. Vyznachennja zvarjuval'nyh deformacij jaki vynykajut' pid chas zhyttjevogo cyklu napivvagona / O.V. Burlutskiy, N.S. Kocheshkova // Zbirnyk naukovykh prac' Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universytetu transportu (serija «Transportni systemy i tehnologii»). – Kyi'v: DETUT, 2015. – № 26-27. – S. 92-101.
9. Burlutskiy O.V. Application methods changes plastic deformation after welding sill gondola cars / O.V. Burlutskiy // Metallurgical and mining industry (Machine building). – Dnipropetrovsk, 2015. – No.10. – P. 190-197. ([www.metaljournal.com.ua](http://www.metaljournal.com.ua)).
10. Veretnik L.D. Pravka svarnyh konstrukcij / L.D. Veretnik. – Har'kov: Prapor, 1966. – 52 s.
11. Rechkalov S.D. Naprjazhjonno-deformirovanne sostojanie svarnyh jelementov kuzova vagona dlja sypuchih metallurgicheskikh gruzov s uchjotom temperaturnyh vozdejstvij: dis. kand. tehn. nauk: 05.22.07 / Rechkalov Sergej Dmitrievich; Moskovskij institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta. – M., 1987. – 295 s. – Bibliogr.: s. 174-186.

**Фомін А.В., Логвиненко А.А., Бурлуцький А.В.**  
**Процедура правки технологічески-деформованих вагонних металлоконструкцій путём создания внутреннего напряжённого состояния термическим влиянием.**

*В статье отмечена важная роль железнодорожного транспорта в транспортной системе страны. Обоснована актуальность повышения надежности отечественного парка грузовых вагонов. Отмечено, что в развитии вагоностроения важную роль играет сварочное производство, как один из ведущих технологических процессов в создании сварных вагонных металлоконструкций, применение которых обеспечивает значительную экономию материалов и трудовых ресурсов. Представлены описание, а также преимущества и недостатки существующих методов правки, которые позволяют восстановить геометрические формы металлоконструкций после сварки. Обоснована целесообразность применения метода прогрева «клиньев» при правке балки хребтовой полуввагона. Приведена последовательность реализации этого метода.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, вагоностроение, технологически-деформованная вагонная ме-

#### References

1. Fomin O.V. Doslidzhennja defektiv ta poshkodzen' nesuchih sistem zaliznichnih napivvagoniv: monografija / O. V. Fomin. – Ki'v: DETUT, 2014. – 299 s.
2. Fomin O.V. Analiz ekspluatacijnyh poshkodzen' kuzoviv zaliznychnyh napivvagoniv / O.V. Fomin, O.V. Burlutskiy,

*таллоконструкция, правка термическим воздействием, местный нагрев, метод прогрева «клиньев».*

**Fomin O.V, Logvinenko O.A, Burlutsky O.V. The procedure for straightening technologically-deformed wagon metal structures by creating an internal stress state by thermal influence.**

*The article highlights the important role of railway transport in the country's transport system. The urgency of increasing the reliability of the domestic fleet of freight cars is substantiated. It is noted that welding production plays an important role in the development of car building, as one of the leading technological processes in the creation of welded carload metal structures, the use of which provides significant savings in materials and labor resources. The description, as well as the advantages and disadvantages of existing straightening methods, which allow restoring the geometric shapes of metal structures after welding, are described. The expediency of using the method of heating the "wedges" when*

*correcting a beam of a spinal gondola car is substantiated. The sequence of realization of this method is given.*

**Keywords:** *railway transport, car building, technologically deformed carload metalwork, heat treatment by heat treatment, local heating, method of heating "wedges".*

**Фомін О.В.** – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, e-mail: fomin1985@list.ru.

**Логвіненко О.А.** – к.т.н., доцент кафедри «Механіка і проектування машин» Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: lovinenko.alexandr@rambler.ru.

**Бурлуцький О.В.** – завідувач навчальними лабораторіями кафедри «Механіка і проектування машин» Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: leha200681@mail.ru.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 30.03.2017