

УДК 629.4.02

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ПРАВКИ****Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Горбунов М.І., Логвіненко О.А.****CONCEPTUAL BASIS OF THERMAL EDITING****Fomin O.V., Burlutskiy O.V., Horbunov M.I., Logvinenko O.A.**

*Відмічено, що однією з перспективних галузей транспортного машинобудування є вагонобудування. Зазначена актуальність удосконалення технологій виробництва в напрямку підвищення надійності вітчизняного парку вантажних вагонів. Відмічена важлива роль технологічного процесу зварювання при виготовленні та ремонті вагонних металокопункцій. Обумовлена актуальність використання процесу термічної правки зварювальних елементів. Представлено загальний вид оптимізаційного дослідження термічної правки вагонних металокопункцій. Підтверджено точність отриманих, при моделюванні термічної правки об'єкту верхнього напіввагону, результатів в рамках експериментального дослідження його натурального зразка. Відмічено, що після проведення термічної правки практично не відбувається зміна структури основного металу елемента, а відхилення в механічних характеристиках до і після процесу правки є незначними.*

**Ключові слова:** вагонобудування, елементи вантажних вагонів, деформації, термічна правка, моделювання, експериментальне дослідження, оптична мікроскопія, механічні характеристики.

**Вступ.** До однієї з перспективних галузей транспортного машинобудування, якому відводиться основна роль в прискоренні соціально-економічного розвитку країни, слід віднести вагонобудування, яке в цілому орієнтоване на виробництво різноманітних моделей вантажних вагонів. 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, а також систем ремонту та технічного обслуговування; використання в експлуатації сучасних вискоефективних пристроїв контролю технічного стану вагонів та підвищення їх довговічності [1,2].

Як показав світовий досвід виробництва металокопункцій вантажних вагонів основним технологічним процесом, який значною мірою визначає їх надійність та довговічність (які безпосередньо пов'язані з безпекою руху) є зварювання [3,4]. В той же час його застосування викликає зміну як фізичних так і механічних характеристик матеріалу зварювальних металокопункцій та призводить до появи післязварювальних залишкових напружень та деформацій [5,6], які суттєво знижують якість зварювальних елементів. У зв'язку з цим при виготовленні елементів вантажних вагонів виникає потреба в проведенні відповідних заходів щодо усунення наслідків їх появи і здійсненні відповідного технологічного контролю. Вищезазначена ситуація обумовлює актуальність та важливість проведення робіт в напрямку удосконалення технологій виробництва та ремонту вантажних вагонів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показав, що запобігти появі залишкових напружень та деформацій при зварюванні можливо за рахунок застосування конструктивного або технологічного способів. При цьому конструктивний спосіб полягає в раціональному конструюванні зварювальних вузлів, а технологічний спосіб заснований на раціональному виборі теплового режиму, а також способі збирання та технології зварювання.

В тому випадку, коли у виробництві зварювальних конструкцій неможливо застосувати вищенаведені способи, використовують технологічні підходи пов'язані з їх післязварною обробкою, яка отримала назву «правка». Всю чисельність існуючих методів правок можна звести до двох груп, а саме до методів: деформування зовнішніми силами (холодна правка) та деформування температурою (термічна правка).

В останній час при виробництві елементів вантажних вагонів широкого розповсюдження отримала холодна правка, яка полягає у деформуванні металокопункцій пластичним

згинанням при звичайній температурі та дозволяє усунути їх викривлення, а саме надати їм прямолінійної форми. Але в результаті вказаного деформування в металокопструкції утворюється наклеп, який підвищує межу текучості матеріалу (яка знижує статичну та втомну міцність копструкції) та призводить до появи неоднорідності механічних властивостей. В той же час використання вказаного методу правки не забезпечує стабільної форми виправлених деталей і в процесі експлуатації усунена правкою деформація може виникнути знову. У зв'язку з цим особливої уваги при виготовленні зварних металокопструкцій заслуговує термічна правка, яка позбавлена зазначених недоліків [7 – 10].

**Метою статті** є викладення концептуальних основ термічної правки зварних металокопструкцій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як було відмічено раніше, традиційним способом стабілізації форм технологічно-деформованих вагонних металокопструкцій при їх виготовленні на вагонобудівних підприємствах України є холодна правка але однією з найбільш раціональних та економічно-доцільних з точки зору зниження залишкових деформацій і стабілізації форм є процедура правки термічним впливом, яка полягає в місцевому високотемпературному нагріванні відповідних зон елементів за допомогою газокисневого полум'я або електричної дуги та призводить до виправлення прогинів, що виникають в процесі зварювання. Отже вказана правка представляє собою термічну обробку, під якою розуміють процеси, що полягають в тепловому впливі за певними режимами, з метою зміни структури та властивостей матеріалу.

Основною перевагою цього виду правки є її універсальність, тобто з її допомогою можливо виправити будь-яку зварювальну металокопструкцію, яка має складну конфігурацію та габарити (наприклад хребтову балку напіввагону). 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 та грибовидності кузова, в той час як холодна правка має області, коли її здійснення неможливе. Таким чином, потенційні можливості термічної правки вище, ніж холодної.

Для зазначеної правки застосовують три види нагрівання: нагрівання, яке виконується симетрично відносно осі виробу і не викликає появу згинального моменту (застосовується при правці випучин та хлопавок на тонких листах); нагрівання, яке виконується несиметрично відносно осі виробу, що викликає в результаті залишкової пластичної деформації стискання появу моменту, який згинаючи деформований виріб, доводить його до виправлення; нагрівання, що розташоване незалежно від осі симетрії та викликає в результаті пластичної деформації стискання вкорочення

подовжених волокон виробу та внаслідок цього випрямлення копструкції.

Використання термічної правки з місцевим нагріванням пов'язано з виконанням наступних етапів: виявлення деформацій, які виникають в копструкції; 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 копструкції. З усіх вищенаведених етапів особлива увага приділяється вибору форм та розмірів нагрівання.

За існуючою класифікацією розрізняють наступні форми [5]: 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. Аналіз представлених вище форм дозволив зробити висновок, що згинаючий момент, необхідний для вирівнювання копструкції, можна отримати використовуючи повздожнє, або поперечне скорочення металу копструкції. При цьому у випадку термічної правки елементів несучих систем вантажних вагонів доцільно використовувати поперечне скорочення металу та форму нагрівання у вигляді «клина» [11].

Основним питанням правки є вирішення задачі о розмірах та режимах нагрівання. Так отримання оптимальних геометричних розмірів клина та температури нагрівання, необхідних для проведення термічної правки з метою усунення зварювальних деформацій вагонних металокопструкцій, можливе за результатами проведення відповідного оптимізаційного дослідження. В загальній постановці його метою є визначення вектору керованих параметрів  $\bar{X}^*(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , який називається оптимальною точкою і задовольняє усім заданим обмеженням, при яких досягається екстремальне значення цільової функції (ЦФ)  $F^*(\bar{X})$  – значення ЦФ в оптимальній точці. Загальний запис такої задачі має наступний вигляд:

$$F(\bar{X}) \rightarrow \text{extremum}, \quad \bar{X} \in D_x \in D, \quad (1)$$

де  $F$  – головний критерій оптимальності, який обрано відповідно до основної мети оптимізаційного дослідження;

$\bar{X}$  – вектор керованих параметрів  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , варіювання якими призводить до зміни головного критерію  $F$ ;

$D$  – область можливих рішень;

$D_x$  – область допустимих рішень.

Стосовно до задачі оптимізаційного дослідження процесу термічної правки вагонних металокопункцій з метою зменшення їх післязварних деформацій, у якості головного критерію оптимальності доцільно використовувати величину прогину  $f$ , який є основною зварювальною деформацією що має місце при їх виготовленні.

Тоді загальний вид оптимізаційного дослідження термічної правки вагонних металокопункцій буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} f(\bar{X}) \rightarrow \min, \\ \bar{X} \in D_x \in D. \end{aligned} \quad (2)$$

Результатами такого оптимізаційного дослідження є отримані математичні залежності та побудовані на їх основі допоміжні графіки, аналіз яких дозволяє обґрунтовано підходити до вибору розмірів та режимів нагрівання при термічній правці зварювальних металокопункцій.

Авторами було відмічено, що підтвердження ефективності термічної правки можна отримати за результатами проведення її моделювання з використанням відповідних програмних комплексів систем автоматизованого проектування таких як ANSYS, Nastran, MARK, SolidWorks, T-flex та ін. Так авторами було проведено моделювання термічної правки об'язування верхнього напіввагону (на основі розробленої скінченно-елементної моделі) з використанням SolidWorks. Також виконано підтвердження точності та отриманого в ході такого моделювання ефекту (відміченого усунення, отриманого при накладанні зварювального шва, прогину зазначеного елемента) в рамках експериментального дослідження його натурального зразка. При цьому результати проведеної оптичної мікроскопії та отримані в ході випробувань механічні характеристики зразка об'язування верхнього напіввагону дозволили зробити висновок, що після проведення термічної правки практично не відбувається зміна структури основного металу елемента, а відхилення в механічних характеристиках до і після процесу правки є незначними (в межах 3%).

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Викладені в статті матеріали обґрунтовують доцільність застосування термічної правки при виготовленні металокопункцій. Також вони можуть бути використані при виробництві та ремонті одиниць рухомого складу існуючого вагонного парку.

## 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. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О. В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 252 с.
3. Шляпин В.Б. Ремонт вагонів сваркой / В.Б. Шляпин, А.Ф. Павленко, В.Ю. Емельянов // Справочник. – М.: Транспорт, 1983. – 246 с.
4. ОСТ 24.050.34-84 Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования. – Введ. 1988-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 183 с.
5. Биргер И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М.: Транспорт, 1963. – 232 с.
6. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения / В.А. Винокуров. – М.: Машгиз., 1963. – 235 с.
7. Фомін О.В. Процедура правки технологічно-деформованих вагонних металокопункцій шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, О.В. Бурлуцький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. – N 3(233). – С. 234-238.
8. Фомін О.В. Термічна правка технологічно-деформованих верхніх об'язувань піввагонів / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, М.І. Горбунов, О.А. Логвіненко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. – Харків: НТУ(ХПІ), 2017. – № 39 (1261). – С. 76-80.
9. Патент України на корисну модель №122862, МПК (2017.01) B21D 1/00 B61D 3/00 Спосіб термічної правки об'язування верхнього піввагона / Фомін О.В., Горбунов М.І., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А., Фоміна А.М (Україна); власник: автори – № u 2017 08878; заявка 05.09.2017; публ. 25.01.2018, Бюл. № 2.
10. Патент України на корисну модель № 118285, МПК (2017.01) B61F 1/02 (2006.01) B61D 3/00 Спосіб термічної правки балки хребтової піввагона / Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В. (Україна); власник: автори. – № a2017 02689; заявка 22.03.2017; публ. 25.07.2017, Бюл. № 14.
11. Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В. Наукове обґрунтування вибору геометричних параметрів зон нагріву при термічній правці елементів несучих систем вантажних вагонів / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, О.В. Бурлуцький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. – N 4(234). – С. 227-232.

## References

1. Fomin O.V. Research of defects and damages of bearing systems of railway open wagons: monograph. – Kiev: State University of Economics and Technology Publ., 2014. 299 p.
2. Fomin O.V. Optimization of the design of the elements of the bodies of railway gondola cars and the organization of their production: monograph. – Donetsk: Donetsk Institute of Railway Transport Publ., 2013. 252 p.

3. Shljapin V.B., Shljapin V.B., Pavlenko A.F., Emel'janov V.Ju. Repair of wagons by welding. Spravochnik. Moscow: Transport Publ., 1983. 246 p.
4. Industry standard 24.050.34-84 Designing and manufacturing of welded steel structures of wagons. Technical requirements. Introduced 1988-01-01. M.: Publishing standards, 1988. 183 p.
5. Birger I.A. Residual stresses. Moscow: Transport Publ., 1963. 232 p.
6. Vinokurov V.A. Welding deformations and stresses. M.: Mechanical engineering Publ., 1968. 236 p.
7. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. The procedure for straightening technologically deformed carload metal structures by creating an internal stress state by thermal action. Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University: Scientific Journal, Severodonetsk, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University Publ., 2017, no. 3(233), pp. 234–238.
8. Fomin O.V., Burlutskiy O.V., Gorbunov M.I., Logvinenko O.A., Fomina A.M. Thermal correction of technologically deformed upper bounds of gondola. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Dynamics and Durability of Machines, Kharkiv, National Technical University "KhPI" Publ., 2017, no. 39(1261), pp. 76–80.
9. Fomin O.V., Gorbunov M.I., Burlutskiy O.V., Logvinenko O.A., Fomina A.M. (Ukraine) Patent of Ukraine for utility model №122862, МПК (2017.01) B21D 1/00 B61D 3/00 The method of thermal dressing tying the upper gondola car; owner: authors - No. u 2017 08878; application 05/09/2017; pub. January 25, 2018, Bulletin No. 2
10. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. (Ukraine) № 118285, МПК (2017.01) B61F 1/02 (2006.01) B61D 3/00 The method of thermal correction of a beam of a spinal gondola car; owner: authors. - No. a2017 02689; application on 03/22/2017; pub. 07/25/2017, Bul. No. 14.
11. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. Scientific substantiation of the choice of geometrical parameters of heating zones during thermal adjustment of the elements of load bearing systems of freight cars. Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University: Scientific Journal, Severodonetsk, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University Publ., 2017, no. 4(234), pp. 227–232.

**Фомин А.В., Бурлуцкий А.В., Горбунов Н.И., Логвиненко А.А. Концептуальные основы термической правки.**

*Отмечено, что одной из перспективных отраслей транспортного машиностроения является вагоностроение. Обоснована актуальность совершенствования технологий производства в направлении повышения надежности отечественного парка грузовых вагонов. Отмечена важная роль технологического процесса сварки при изготовлении и ремонте вагонных металлоконструкций. Обусловлена актуальность использования процесса термической правки свариваемых вагонных элементов. Представлен общий вид оптимизационного исследования термической правки вагонных металлоконструкций. Подтверждена*

*точность полученных, при моделировании термической правки обвязывания верхнего полувагона, результатов в рамках экспериментального исследования его натурального образца. Отмечено, что после проведения термической правки практически не происходит изменения структуры основного металла элемента, а отклонения в механических характеристиках до и после процесса правки незначительны.*

**Ключевые слова:** вагоностроение, элементы грузовых вагонов, деформации, термическая правка, моделирование, экспериментальное исследование, оптическая микроскопия, механические характеристики.

**Fomin O.V., Burlutskiy O.V., Gorbunov M.I., Logvinenko O.A. Conceptual foundations of thermal editing.**

*It is noted that one of the most promising branches of transport engineering, which is focused on the production of various types of wagons, is car building. The urgency of improving production technologies in the direction of increasing the reliability of the domestic fleet of freight cars is indicated. An important role of the welding technological process in the manufacture and repair of carload metal structures was noted. Its advantages and disadvantages are given. The urgency of using the process of thermal dressing of the welded elements is determined, which is aimed at eliminating post-welding deformations and stabilizing the molds. A general view of the optimization study of the thermal correction of wagon metal structures is presented. The accuracy of the results of the binding of the upper gondola car obtained during the simulation of its full-scale sample was confirmed. It is noted that after the thermal dressing, the structure of the base metal of the element practically does not change, and the deviations in the mechanical characteristics before and after the dressing process are insignificant.*

**Keywords:** car building, freight car elements, deformations, thermal correction, modelling, experimental research, optical microscopy, mechanical characteristics.

**Фомін Олексій Вікторович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри вагони та вагонне господарство, Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: fomin1985@list.ru.

**Бурлуцький Олексій Вікторович** – завідувач навчальними лабораторіями кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, e-mail: leha200681@mail.ru.

**Горбунов Микола Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, e-mail: gorbunov0255@gmail.com.

**Логвіненко Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, e-mail: dragondaewoo@gmail.com.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 11.04.2018.