

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.46-044.923+629.48О. В. ФОМІН^{1*}, О. А. ЛОГВІНЕНКО², О. В. БУРЛУЦЬКИЙ³, А. М. ФОМІНА⁴^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури і технологій, вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071, тел. +38 (067) 813 97 88, ел. пошта fomin1985@ukr.net, ORCID 0000-0003-2387-9946²Каф. «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61001, тел. +38 (066) 373 03 50, ел. пошта logvinenko@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-5731-7995³Каф. «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61001, тел. +38 (095) 735 66 87, ел. пошта leha2006181@gmail.com, ORCID 0000-0003-1902-5809⁴ Каф. «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені В.Далія, просп. Центральний, 59-а, Северодонецьк, Україна, 93400, тел. +38 (095) 142 90 74, ел. пошта anyta220885@gmail.com, ORCID 0000-0002-9810-8997**ТЕОРЕТИЧНО-ПРАКТИЧНИЙ БАЗИС ПРАВКИ ДЕФОРМОВАНИХ ВАГОНОКОНСТРУКЦІЙ ТЕРМІЧНИМ ВПЛИВОМ**

Мета. Запропоноване дослідження спрямоване на обґрунтування доцільності використання методу термічної правки для усунення деформацій вагонних металоконструкцій, які мають місце під час їх виготовлення, експлуатації та ремонту. **Методика.** Для досягнення зазначеної мети створено математичний апарат, який базується на методах математичного планування експерименту. Розроблено узагальнений універсальний математичний запис оптимізаційного дослідження термічного правка вагоноконструкцій. Проведене моделювання термічного правка з використанням програмного комплексу систем автоматизованого проектування SolidWorks, а також експериментальне дослідження натурального зразка верхнього обв'язування напіввагона. **Результати.** На основі узагальненого математичного запису оптимізаційного дослідження термічного правка вагоноконструкцій створено математичні залежності для термічного правка хребтової балки та верхнього обв'язування універсальних напіввагонів. Ці залежності описують зміну величини деформаційного прогину з відповідними геометричними параметрами зон нагрівання (прогину хребтової балки та профілю верхнього обв'язування) залежно від варіювання керованих змінних (геометричних параметрів плям нагрівання й температури). Побудовані допоміжні графіки (бінарні перерізи) для обґрунтованого вибору оптимальних значень геометричних параметрів зон нагрівання у разі застосування термічного правка деформацій елементів вантажних вагонів, які виникають під час їх виготовлення, ремонту та експлуатації. На основі розроблених скінченно-елементних моделей виконано підтвердження ефективності термічного правка. Експериментальним шляхом доведена точність отриманого в ході комп'ютерного моделювання ефекту – відзначено усунення прогину елемента вагонної конструкції, який виник під час накладання зварного шва. **Наукова новизна.** Розроблений математичний апарат і створена на його основі модель для дослідження термічного правка вагоноконструкцій дозволяють обґрунтовано підходити до вибору оптимальних параметрів зазначеного правка під час його застосування для усунення деформацій, які виникають в елементах вантажних вагонів. **Практична значимість.** Урахування отриманих результатів сприятиме зниженню витрат на технологічні процеси побудови й ремонту вантажних вагонів, які складають основу вагонного парку залізниць України.

Ключові слова: вантажний вагон; вагоноконструкція; деформації; термічна правка; оптимізаційне дослідження; математичне моделювання; експериментальне дослідження

Вступ

Однією з важливих та перспективних галузей транспортного машинобудування, якому відводиться основна роль в прискоренні соціально-економічного розвитку країни, є вагонобудування. На особливу увагу заслуговують

питання підвищення технічного рівня вагонів, якого можна досягти за рахунок застосування нетрадиційних матеріалів із більш високими стійкими характеристиками, нових методів зварювання, а також прогресивних технологічних процесів.

Збереження провідного місця у перевезеннях вантажів залізницями вимагає постійного

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

поліпшення ефективності їх функціонування. Одним із ключових моментів забезпечення високого рівня продуктивності роботи залізниць є застосування більш економічних технологій виробництва й ремонту вантажних вагонів. При цьому на етапах життєвого циклу вантажних вагонів (під час виготовлення, ремонтів й експлуатації) їх конструкції зазнають різних видів деформацій.

Пошук шляхів протидії виникненню деформацій конструкцій вантажних вагонів та ефективного їх правка є важливою науково-прикладною проблемою. Відмічено обґрунтовується прямим зв'язком зменшення деформацій вагонних конструкцій із підвищенням рівня безпеки руху та збереження вантажів під час транспортування. Цим питанням приділяють особливу увагу не лише в науковій діяльності, але й під час практичної реалізації її результатів. Постійно проводять науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи, скеровані на удосконалення методів правка деформацій елементів одиниць рухомого складу за рахунок упровадження різних технологічних підходів і технічних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дозволив відзначити наступне. Так, у роботі [6] наведені перспективні шляхи поліпшення техніко-економічних показників вантажних вагонів, серед яких виділено ефективну протидію виникненню деформацій їх елементів. Але при цьому не зазначені можливі засоби вирішення поставленої задачі.

Заходи щодо вдосконалення несної конструкції кузова піввагона з метою зменшення деформацій у місцях його кріплення на палубі залізничного порома наведені в роботі [8]. Результати розрахунків на міцність кузова з урахуванням кріплення його до палуби за запропоновані конструкційні вузли в умовах морської качки дозволили зробити висновок про доцільність указаних рішень.

У статті [3] розглянуто перспективи вдосконалення протидеформаційних властивостей вантажних вагонів, збільшення яких можна досягти шляхом удосконалення їх конструкцій, наприклад, за рахунок упровадження матеріалів із поліпшеними характеристиками [10].

У роботі [2] висвітлені питання проектування рухомого складу для перевезення великовагових

вантажів із урахуванням деформаційних заходів. Дослідження динаміки й міцності здійснене за допомогою сучасних засобів програмного забезпечення ProMechanica і CosmosWorks. Також під час проектування несної конструкції транспортера проведено дослідження можливості його виконання з різнотипних матеріалів.

У науковій праці [7] розглянуті конструкційні особливості вагона для інтермодальних перевезень. Відзначено, що вагон має знижену середню частину, а наявність зворотної частини дає можливість здійснювати завантаження/розвантаження автотехніки на/з нього самокатом без деформацій.

У роботі [9] наведені результати досліджень із визначення характеру й ступеня впливу різних вантажних візків на міцність несних систем вагонів. Однак до завдань такого дослідження не включені питання визначення відповідного впливу ресор на протидію експлуатаційним деформаціям.

У дослідженні [1] наведені результати щодо отримання математичних моделей зміни основних показників базових несних елементів вантажних вагонів. При цьому питання їх термічного правка не розглянуті.

У статті [4] представлені матеріали про вплив профілю кочення передніх за рухом коліс візка на загальну динаміку одиниці рухомого складу. Однак взаємозв'язку з виникненням можливих деформацій встановлено не було.

У дослідженні [11] проаналізовані особливості руху й взаємодії одиниць рухомого складу з параметрами, які відповідають наявним технічним рішенням. А дослідження для одиниць із параметрами, які відображають можливості впровадження перспективних технологічних рішень, не проведені.

Наукова робота [5] присвячена висвітленню результатів удосконалення динамічних якостей рухомого складу під час проходження кривих ділянок колії шляхом поліпшення відповідних конструктивних елементів. Також визначені можливості і вплив впровадження таких інновацій на зношений рухомий склад.

Результати проведеного аналізу літературних джерел засвідчили, що питання наукового обґрунтування термічного правка деформацій вагонних конструкцій у повній мірі не були розглянуті.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Мета

Основним технологічним процесом вагонобудування та подальшого ремонту вантажних вагонів є зварювання. При цьому його наслідком є поява в зоні нагрівання температурних залишкових напружень, які в свою чергу призводять до появи залишкових деформацій у вагонних елементах. Усе це визначило мету дослідження, яка полягає в науковому обґрунтуванні процесу термічного правка деформованих вагоноконструкцій.

Методика

Огляд наявних підходів, скерованих на усунення деформацій вагоноконструкцій, дозволив обґрунтовано виділити застосування методів правка, серед яких на особливу увагу заслуговує термічне правка, засноване на місцевому нагріванні виділених зон із подальшим їх охолодженням. Основні етапи виникнення й правка післязварних деформацій у прив'язці до умовної балки наведені на рис. 1. За форму зони нагрівання було обрано рівнобічний трикутник, який отримав назву «клин».

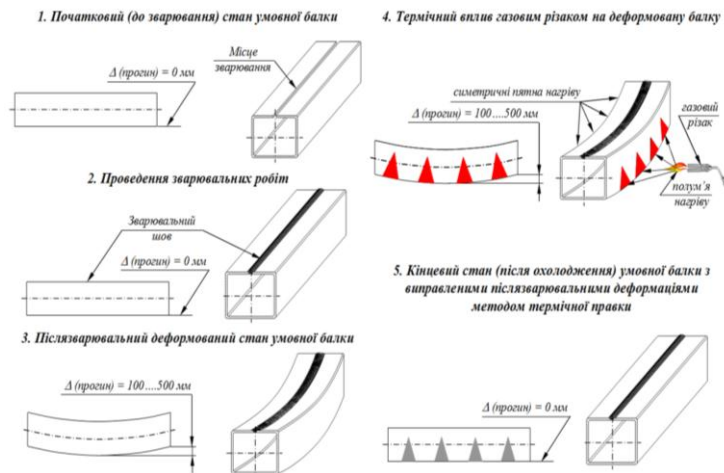


Рис. 1. Принципова схема виникнення й правка термічним правкам післязварних деформацій в умовній балці вантажного вагона термічною правкою

Fig. 1. Principle diagram of the development of post-welded deformations in a conventional beam of a freight car with thermal leveling

З урахуванням обраного критерію узагальнений універсальний математичний запис задачі оптимізаційного дослідження термічної правки з метою зниження післязварних деформацій буде мати наступний вигляд:

З метою дослідження процесів, які мають місце під час термічного правка вагонних елементів, автори розробили математичний апарат, який ґрунтується на методах оптимізації та математичного планування експерименту. Наведено узагальнений універсальний математичний запис оптимізаційного дослідження термічного правка для будь-якої вагонної металокопструкції:

$$F(\bar{X}) \rightarrow \text{extremum}$$

$$\bar{X} \in D_x \in D, \quad (1)$$

де F – головний критерій оптимальності; D_x – область припустимих рішень; D – область можливих рішень.

Результати

Проведені попередні дослідження показали, що для задачі оптимізаційного дослідження термічного правка вагонних металокопструкцій з метою зменшення їх післязварних деформацій за головний (основний) критерій оптимізації доцільно обирати деформацію (прогин) f .

$$f(\bar{X}) \rightarrow \min,$$

$$\bar{X} \in D_x \in D. \quad (2)$$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

У наведеному математичному записі область можливих рішень D визначаються границями відповідних значень змінних факторів x_i (параметричними обмеженнями), а саме змінними параметрами, які характеризують: геометричні розміри плям нагрівання (висоту x_{Ba} , довжину x_{Dd} , ширину $x_{Шe}$); кількість

плям нагрівання (x_{Ij}); температуру нагрівання T при термічній правці (x_{Tk}).

З урахуванням вищенаведеного область можливих рішень D можна представити у наступному вигляді:

$$D = \left\{ \bar{X} \left\{ \begin{array}{l} x_{Ba \min} \leq x_{Ba} \leq x_{Ba \max}, x_{Dd \min} \leq x_{Dd} \leq x_{Dd \max}, \\ x_{Шe \min} \leq x_{Шe} \leq x_{Шe \max}, x_{Ij \min} \leq x_{Ij} \leq x_{Ij \max}, \\ x_{Tk \min} \leq x_{Tk} \leq x_{Tk \max}; a \in [1 : n], d \in [1 : c], \\ e \in [1 : s], j \in [1 : h], k \in [1 : m]. \end{array} \right. \right\}. \quad (3)$$

Область припустимих рішень D_x , в якій знаходиться шукане рішення, виділяють із області D функціональними вимогами (обмеженнями вторинних критеріїв). Попередні дослідження показали, що за зазначені критерії та їх відповідні обмеження доцільно обирати: найбільше напруження σ_{\max} в небезпечному перерізі металокопункції, яке не повинно перевищувати допустиме напруження $[\sigma]$ для обраного матеріалу; жорсткість c_{\max} , значення якої не

повинно перевищувати допустиме $[c]$; напруження стійкості $\sigma_{cm \max}$, яке не повинно перевищувати допустиме $[\sigma_{cm}]$; модуль поздовжньої пружності E , який обирають залежно від матеріалу й позначають для сталі E_{cm} ; ефективний коефіцієнт корисної дії η нагрівання металокопункції.

Тоді область припустимих рішень D_x набуде наступного вигляду:

$$D_x = \left\{ \bar{X} \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\max} \leq [\sigma], c_{\max} \leq [c], \sigma_{cm \max} \leq [\sigma_{cm}], \\ E = E_{cm}, \eta \geq \eta_{\min}, \eta \leq \eta_{\max} \\ x_{Ba \min} \leq x_{Ba} \leq x_{Ba \max}, x_{Dd \min} \leq x_{Dd} \leq x_{Dd \max}, \\ x_{Шe \min} \leq x_{Шe} \leq x_{Шe \max}, x_{Ij \min} \leq x_{Ij} \leq x_{Ij \max}, \\ x_{Tk \min} \leq x_{Tk} \leq x_{Tk \max}; a \in [1 : n], d \in [1 : c], e \in [1 : s], \\ j \in [1 : h], k \in [1 : m]. \end{array} \right. \right\}. \quad (4)$$

На основі наведеного вище узагальненого математичного запису термічної правки створені математичні залежності для термічного виправлення деформацій хребтової балки та верхнього обв'язування універсальних напіввагонів, які описують зміну основного показника (деформаційного прогину Δy хребтової балки (4.5) та профілю верхнього обв'язування (4.6) залежно від варіювання керованих змінних (геометричних параметрів «клина» – ширини b та висоти h , а також температури нагрівання t):

$$\Delta y = 1304,30333 - 55,074 \cdot b + 25,86856 \cdot h - 0,90952 \cdot t + 0,21511 \cdot b^2 - 0,13489 \cdot h^2 + 0,00108 \cdot t^2 + 0,115 \cdot b \cdot h + 0,0056 \cdot b \cdot t - 0,00805 \cdot h \cdot t, \quad (5)$$

$$\Delta y = -1889,03858 + 25,19875 \cdot b + 18,71944 \cdot h + 2,57497 \cdot t - 0,08472 \cdot b^2 + 0,1403 \cdot h^2 - 0,00108 \cdot t^2 - 0,17688 \cdot b \cdot h - 0,00142 \cdot b \cdot t - 0,01692 \cdot h \cdot t. \quad (6)$$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Представлені вище математичні залежності дозволяють побудувати допоміжні графіки (бінарних перерізів) і провести їх подальший аналіз із метою обґрунтованого вибору геометричних параметрів зон нагрівання (ширини b^* та

висоти h^*). Так, на рис. 2 й 3 наведені приклади таких графіків для хребтової балки та верхнього обв'язування універсальних напіввагонів.

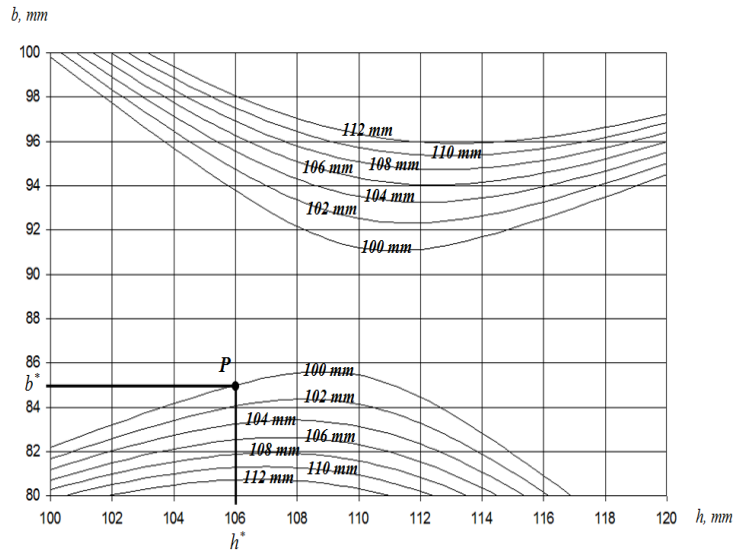


Рис. 2. Допоміжний графік вибору розмірів «клина» для правки балки хребтової за $t = 710^\circ \text{C}$

Fig. 2. Additional diagram for sorting out the dimensions of a «wedge» for the center sill leveling at $t = 710^\circ \text{C}$

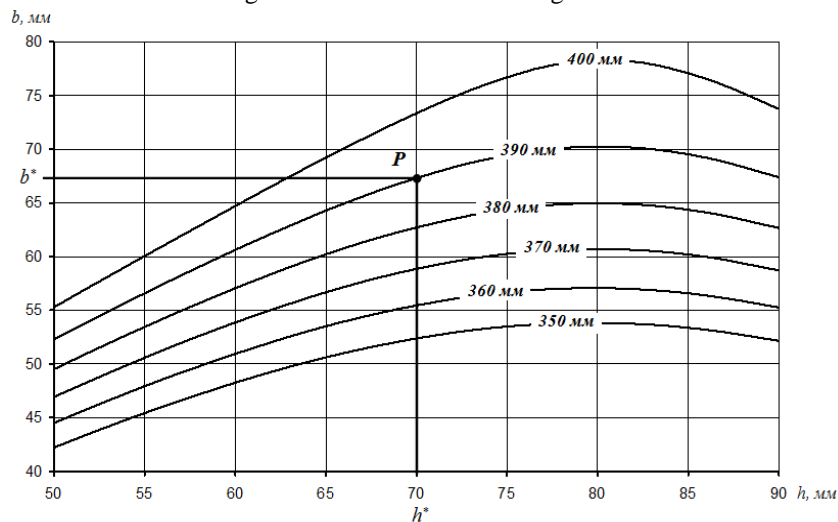


Рис. 3. Допоміжний графік вибору розмірів «клина» для правки обв'язування верхнього за $t = 610^\circ \text{C}$

Fig. 3. Additional diagram for sorting out the dimensions of a «wedge» for the top cord leveling at $t = 610^\circ \text{C}$

Отримані результати дозволили перейти до наступного етапу наукових досліджень, який полягає в підтвердженні ефективності терміч-

ної правки. При цьому авторами було відмічено, що таке підтвердження можливо отримати за результатами моделювання термічної правки

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

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 обв'язування верхнього напіввагону та хребтової балки (на основі розроблених скінченно-елементних моделей) з використанням комплексу SolidWorks.

Також виконано підтвердження точності та отриманого в ході такого моделювання ефекту

(відміченого усунення, отриманого при накладанні зварювального шва, прогину елемента вагонної конструкції) в рамках експериментального дослідження натурального зразка обв'язування верхнього напіввагону.

Етапи комп'ютерного моделювання та експериментального дослідження основних елементів конструкції напіввагону представлені на рис. 4.

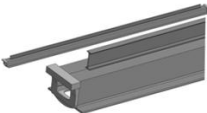
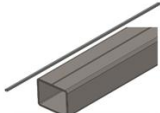

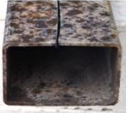
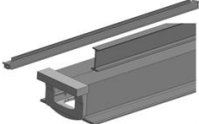
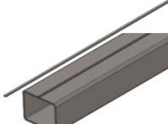

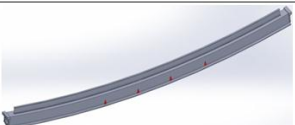


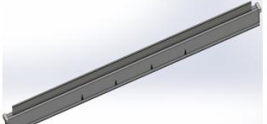


ЕТАПИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ		ЕТАПИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ ПРАВКИ ОБВ'ЯЗУВАННЯ ВЕРХНЬОГО	
Балка хребтова	Обв'язування верхнє		
<i>До накладання зварювального шва</i>			
			
<i>Процес проведення зварювальних робіт</i>			
			
<i>Процес накладання та нагрівання клинів</i>			
			
<i>Після здійснення технологічної операції термічної правки</i>			
			

Рис. 4. Етапи моделювання процесу термічної правки комп'ютерного та експериментального досліджень вагонних конструкцій

Fig. 4. Stages of the thermal leveling process of computer and experimental research into car structures

Експеримент проводився на натурних зразках, які було виконано з урахуванням конструкції, технології та матеріалу, аналогічних реальним балки хребтової та верхньому обв'язуванню напіввагону.

Етапи експериментального дослідження такі:

– по всій довжині дослідного зразка накладається за допомогою зварювального обладнання зварювальний шов;

– після остигання зразка фіксується величина прогину, який при цьому виникає;

– залежно від величини прогину встановлюються розміри плям нагрівання (у нашому випадку формою плями нагрівання є рівнобічний трикутник, який отримав назву «клин») і температура нагрівання;

– за допомогою нагрівального обладнання (із використанням газокисневого полум'я) виконується прогрівання «клинів» до набуття ви-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

шнево-червоного – вишневого кольору сталі у зоні прогрівання;

– після виконання процесу прогрівання усіх «клинів» дослідний зразок залишається для остигання;

– після остигання зразка контролюється процес усунення прогину, який мав місце на етапі накладання зварювального шва.

Після експериментальних досліджень було проведено мікроскопію структури металу в зоні нагрівання для підтвердження працездатності сталі 09Г2С, з якої вироблено балку, після правочних робіт та досліджено структурні стани матеріалів несучих конструкцій вантажних вагонів у місцях температурного впливу при термічній правці.

Мікродослідження проводилися після правки при температурі нагрівання від 450-900°C на мікрошліфі за допомогою мікроскопа Digital Microscope CELESTRON 44302-B-CGL Deluxe Handheld. Мікроструктуру зразків виявляли методом хімічного й електролітичного травлення.

Визначення механічних характеристик зварювального з'єднання проводилося відповідно до вимог (ГОСТ 28840-90, ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9651-84, ГОСТ 6996-66). Зразки вирізані з проб зі зварювального шва та проб після правки за схемою, наведеною на рис. 5 (вирізані заготовки для виготовлення плоских зразків, на яких вивчалися властивості металу шва та основного металу клина після правки).

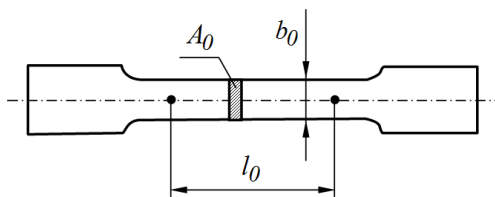


Рис. 5. Схема плоского зразка для випробувань матеріалів на розтягання

Fig. 5. Scheme of a flat sample for tensile materials testing

За допомогою універсальної випробувальної машини 2054 P-5 (рис. 6) виготовлені зразки випробовувалися на розтягання при температурах 500°C, 600°C, 700°C, 800°C зусиллям до 50 кН.



Рис. 6. Універсальна машина для випробування зразків на статичне розтягання

Fig. 6. Universal testing machine static tensile specimens

Отримані в ході випробувань механічні характеристики металу в зоні нагрівання після правки натурального зразка вагонної металоконструкції підтвердили їх незначне відхилення від тих, що були визначені до правки. Це аргументується забезпеченням необхідного рівня характеристик матеріалу.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі науково обґрунтовано напрямок виправлення деформацій вагонних металоконструкцій за допомогою методу термічного виправлення. Результати проведених досліджень дозволяють удосконалювати технології виробництва й ремонту вагонів.

Висновки

Запропонований у статті метод термічної правки дозволяє усувати деформації будь-яких вагонних конструкцій. Наведений математичний апарат і побудовані з його використанням допоміжні графіки дозволяють ефективно та швидко підібрати необхідні для термічної правки параметри й реалізувати вказаний підхід з усунення зварних деформацій у наявних виробничих умовах.

Матеріали даної публікації отримано в ході виконання заявки проекту Ф84 ДФФД.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Також результати проведеної оптичної мікроскопії та отримані в ході випробувань механічні характеристики зразка верхнього обв'язування напіввагона дозволили зробити висновок, що після проведення термічної прав-

ки практично не відбувається зміни структури основного металу елемента, а відхилення в механічних характеристиках до і після процесу правки є незначними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів / О. В. Фомін, О. А. Логвіненко, Р. Ю. Дьомін, Г. П. Бородай, В. В. Фомін, О. В. Бурлуцький // Заліз. трансп. України. – 2013. – № 5/6 (102/103). – С. 95–104.
2. Divya Priya, G. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley / G. Divya Priya, A. Swarnakumari // Intern. J. of Innovative Technology and Research. – 2014. – Vol. 2. – Iss. 6. – P. 1568–1580.
3. Fomin, O. V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O. V. Fomin, O. V. Burlutsky, Yu. V. Fomina // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 2 – P. 250–256.
4. Impact of Wheelset Steering and Wheel Profile Geometry to the Vehicle Behavior when Passing Curved Track / V. Hauser, O. S. Nozhenko, K. O. Kravchenko, M. Loulová, J. Gerlici, T. Lack // Manufacturing Technology. – 2017. – Vol. 17, No. 3. – P. 306–312.
5. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas / M. Kelrykh, O. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No. 6. – P. 64–67.
6. Krason, W. FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards / W. Krason, T. Niezgodá // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. – 2014. – Vol. 62. – Iss. 4. – P. 843–851. doi: 10.2478/bpasts-2014-0093
7. Lovska, A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge / A. A. Lovska // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 1. – P. 49–54.
8. Myamlin, S. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / S. Myamlin, L. Povilas Lingaitis, S. Dailydka, G. Vaičiūnas, M. Bogdevičius, G. Bureika // Transport. – 2015. – Vol. 30. – Iss. 1. – P. 88–92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565
9. Proposal of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radisl Position while Riding Along Track Curve / V. Hauser, O. S. Nozhenko, K. O. Kravchenko, M. Loulová, J. Gerlici, T. Lack // Manufacturing Technology. – 2017. – Vol. 17. – No. 2. – P. 186–192.
10. Research of the intermolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides / Yu. Danchenko, V. Andronov, E. Barabash, T. Obigenko, E. Rybka, R. Meleshenko, A. Romin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6. – Iss. 12 (90). – P. 4–12. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118565
11. Tartakovskiy, E. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems / E. Tartakovskiy, O. Gorobchenko, A. Antonovych // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5. – Iss. 3 (83). – P. 4–11. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80198

А. В. ФОМИН^{1*}, А. А. ЛОГВИНЕНКО², А. В. БУРЛУЦКИЙ³, А. Н. ФОМИНА⁴

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий, ул. Кирилловская, 9, Киев, Украина, 04071, тел. +38 (067) 813 97 88, эл. почта fomin1985@ukr.net, ORCID 0000-0003-2387-9946

²Каф. «Механика и проектирование машин», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61001, тел. +38 (066) 373 03 50, эл. почта logvinenko@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-5731-7995

³Каф. «Механика и проектирование машин», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61001, тел. +38 (095) 735 66 87, эл. почта leha2006181@gmail.com, ORCID 0000-0003-1902-5809

⁴Каф. «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, просп. Центральный, 59-а, Северодонецк, Украина, 93400, тел. +38 (095) 142 90 74, эл. почта anyta220885@gmail.com, ORCID 0000-0002-9810-8997

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧЕСКИЙ БАЗИС ПРАВКИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ВАГОНОКОНСТРУКЦИЙ ТЕРМИЧЕСКИМ ВЛИЯНИЕМ

Цель. Предложенное исследование направлено на обоснование целесообразности использования метода термической правки для устранения деформаций вагонных металлоконструкций, которые имеют место при их изготовлении, эксплуатации и ремонте. **Методика.** Для достижения отмеченной цели создан математический аппарат, который базируется на методах математического планирования эксперимента. Разработана обобщенная универсальная математическая запись оптимизационного исследования термической правки вагоноконструкций. Проведено моделирование термической правки с использованием программного комплекса систем автоматизированного проектирования SolidWorks, а также экспериментальное исследование натурального образца верхней обвязки полувагона. **Результаты.** На основе обобщенной математической записи оптимизационного исследования термической правки вагоноконструкций созданы математические зависимости для термической правки хребтовой балки и верхней обвязки универсальных полувагонов. Эти зависимости описывают изменение величины деформационного прогиба с соответствующими геометрическими параметрами зон нагрева (прогиба хребтовой балки и профиля верхней обвязки) в зависимости от варьирования управляемых переменных (геометрических параметров пятен нагрева и температуры). Построены вспомогательные графики (бинарные сечения) для обоснованного выбора оптимальных значений геометрических параметров зон нагрева при применении термической правки возникающих деформаций элементов грузовых вагонов во время их изготовления, ремонта и эксплуатации. На основе разработанных конечно-элементных моделей выполнено подтверждение эффективности термической правки. Экспериментальным путем доказана точность полученного в ходе компьютерного моделирования эффекта – отмечено устранение возникшего при наложении сварочного шва прогиба элемента вагонной конструкции. **Научная новизна.** Разработанный математический аппарат и созданная на его основе модель для исследования термической правки вагоноконструкций позволяют обосновано подходить к выбору оптимальных параметров отмеченной правки при их использовании для устранения возникающих в элементах грузовых вагонов деформаций. **Практическая значимость.** Учет полученных результатов будет способствовать снижению затрат на технологические процессы изготовления и ремонта грузовых вагонов, которые составляют основу вагонного парка железных дорог Украины.

Ключевые слова: грузовой вагон; вагоноконструкция; деформации; термическая правка; оптимизационное исследование; математическое моделирование; экспериментальное исследование

O. V. FOMIN^{1*}, O. A. LOGVINENKO², O. V. BURLUTSKY³, A. M. FOMINA⁴

^{1*}Dep. «Cars and Car Facilities», State University of Infrastructure and Technologies, Kyrylivska St., 9, Kyiv, Ukraine, 04071, tel. +38 (067) 813 97 88, e-mail fomin1985@ukr.net, ORCID 0000-0003-2387-9946

²Dep. «Mechanics and Machine Design», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (066) 373 03 50, e-mail logvinenko@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-5731-7995

³Dep. «Mechanics and Machine Design», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (095) 735 66 87, e-mail leha2006181@gmail.com, ORCID 0000-0003-1902-5809

⁴Dep. «Railway, Road Transport and Handling Machines», East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Tsentralnyi av. 59-a, Sieverodonetsk, Ukraine, 93400, tel. +38 (095) 142 90 74, e-mail anyta220885@gmail.com, ORCID 0000-0002-9810-8997

THEORETIC-PRACTICAL BASIS OF LEVELING OF DEFORMED CARRIER CONSTRUCTIONS BY THERMAL INFLUENCE

Purpose. The proposed study is aimed at justifying the expediency of using the thermal leveling method to correct deformations of car metal structures that take place during their manufacture, operation and repair. **Methodology.** To achieve this purpose a mathematical apparatus was created, which is based on the methods of mathematical design of the experiment. A generalized universal mathematical record of the optimization study of the thermal leveling of car structures has been developed. Modelling of thermal leveling, using the software complex of CAD systems of Solid Works was carried out, as well as an experimental study of the full-size sample of the cantail in the gondola car. **Findings.** On the basis of a generalized mathematical record of the optimization study of the

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

thermal leveling of the railcar constructions, mathematical dependencies were created for the thermal leveling of the center sill and the cantrail in the universal gondola cars. These dependences describe the change in the magnitude of the deformation deflection with the corresponding geometric parameters in the heating zones (deflection of the center sill and the profile of the cantrail) depending on the variation of the controlled variables (geometric parameters of the heating spots and temperature). Auxiliary graphs (binary sections) have been constructed for a reasonable choice of the optimal values of the geometric parameters in the heating zones when using thermal leveling of the occurring deformations in the elements of freight cars during their manufacture, repair and operation. Based on the developed finite element models, the efficiency of thermal leveling has been confirmed. The accuracy of the effect obtained in the course of computer simulation is proved experimentally – elimination of the occurred deflection when applying the welding seam in the element of the car structure was noted). **Originality.** The developed mathematical apparatus and the model created on its basis for the study of the thermal correction in the car structures allow us to justify the selection of the optimal parameters of the marked correction when they are used to eliminate the deformations that occur in the elements of the freight cars. **Practical value.** Accounting of the obtained results will help to reduce costs in technological processes in the manufacture and repair of freight cars, which is the basis of the rail car fleet of Ukraine.

Keywords: freight car; car structure; deformation; thermal correction; optimization study; math simulation; experimental research

REFERENCES

1. Fomin, O. V., Logvinenko, O. A., Domin, R. Y., Fomin, V. V., Boroday, G. P., & Burlutskiy, O. V. (2013). Matematychni modeli zminy osnovnykh pokaznykiv bazovykh nesuchykh elementiv kuzoviv napivvahoniv. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 5/6(102/103), 95-104. (in Ukrainian)
2. Divya Priya, G., & Swarnakumari, A. (2014). Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. *International Journal of Innovative Technology and Research*, 2(6), 1568-1580. (in English)
3. Fomin, O. V., Burlutskiy, O. V., & Fomina, Y. V. (2015). Development and application of cataloging in structural design of freight car building. *Metallurgical and Mining Industry*, 2, 250-256. (in English)
4. Hauser, V., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Gerlici, J., & Lack, T. (2017). Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track. *Manufacturing Technology*, 17(3), 306-312. (in English)
5. Kelrykh, M., & Fomin, O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Metallurgical and Mining Industry*, 6, 64-67. (in English)
6. Krason, W., & Niezgodá, T. (2014). FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 62(4), 843-851. (in English)
7. Lovska, A. A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49-54. (in English)
8. Myamlin, S., Lingaitis, L. P., Dailydka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., & Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Transport*, 30(1), 88-92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565 (in English)
9. Hauser, V., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Gerlici, J., & Lack, T. (2017). Proposol of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radisl Position while Riding Along Track Curve. *Manufacturing Technology*, 17(2), 186-192. (in English)
10. Danchenko, Y., Andronov, V., Barabash, E., Obigenko, T., Rybka, E., Meleshenko, R., & Romin, A. (2017). Research of the intermolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(12), 4-12. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118565 (in English)
11. Tartakovskiy, E., Gorobchenko, O., & Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3), 4-11. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80198 (in English)

Надійшла до редколегії: 16.07.2018

Прийнята до друку: 30.11.2018