

УДК 629.463.001.63

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ГЕОМЕТРИЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ЗОН НАГРІВУ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ПРАВЦІ ЕЛЕМЕНТІВ  
НЕСУЧИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

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

**SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF GEOMETRIC  
PARAMETERS OF HEATING ZONES DURING THERMAL CORRECTION  
OF ELEMENTS OF LOAD-BEARING SYSTEMS OF FREIGHT CARS**

**Fomin O., Logvinenko O., Burlutskyi O.**

*В статті виділена роль транспортного машинобудування в прискоренні соціально-економічного розвитку країни. Відмічено, що до однієї з його перспективних галузей відноситься вагонобудування. Зазначена роль зварювання при створенні вантажних вагонів. Обґрунтована доцільність застосування методу термічної правки при виготовленні елементів їх несучих систем. Розглянуто фізичну сутність процесів, які відбуваються при правці місцевим нагріванням. Наведені форми місцевого нагрівання, що використовуються при термічній правці. Представлені результати математичне моделювання процесу термічної правки балки хребтової напіввагону.*

**Ключові слова:** вагонобудування, вантажні вагони, несучі системи, зварні конструкції, термічна правка, форми місцевого нагрівання, математичне моделювання.

**Вступ.** Основна роль в прискоренні соціально-економічного розвитку країни відводиться транспортному машинобудуванню. До однієї з його перспективних галузей, яка в цілому орієнтована на виробництво різноманітних моделей вантажних вагонів, слід віднести вагонобудування, оскільки залізничний транспорт є одним із вагомих чинників нормального існування економіки країни. В його розвитку великого значення набуває зварювальне виробництво, як один з провідних технологічних процесів у створенні зварних конструкцій, застосування яких забезпечує значну економію матеріалів та трудових ресурсів. Поряд з іншими технологічними процесами, зварювання значною мірою визначає технічний рівень багатьох галузей промисловості і, зокрема, вагонобудування. 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, 2].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показав, що в даний час у вагонобудуванні зварювання є основою для виготовлення елементів несучих систем вагонів. В той же час їх нерівномірний високотемпературний нагрів при зварюванні, спричиняє появу залишкових деформацій та напружень [3 – 5]. Отже вивчення процесу утворення зварювальних деформацій і напружень має істотне значення для вирішення ряду проблем в тому числі: для оцінки ймовірності появи тріщин в процесі виготовлення конструкцій, тобто для вирішення питань пов'язаних з проблемою технологічної міцності; для визначення поля залишкових напружень з метою врахування їх при оцінці працездатності, тобто для вирішення питань пов'язаних з проблемою експлуатаційної міцності; для вирішення питань пов'язаних з проблемою точності виготовлення зварювальної конструкції. В свою чергу вказані проблеми вимагають різних підходів до дослідження процесу виникнення деформацій та напружень.

Постійне розширення сфер застосування зварювання вимагає економічно доцільних технологій виправлення деформацій, які часто виникають в зварювальних конструкціях. Традиційним способом стабілізації форми деталей після зварювання є механічна правка але, як показав аналіз наукової літератури, найбільшого розповсюдження у виготовленні зварювальних конструкцій отримав метод термічної правки з місцевим нагріванням, як більш економічно доцільний [1, 3 – 6]. Основною перевагою цього виду правки є її універсальність: з її допомогою можливо виправити будь-яку зварювальну конструкцію, яка має складну конфігурацію та габарити. При термічній правці використовується зварювальне полум'я, тому вона не потребує ніякого спеціального обладнання, крім звичайного газового зварювального апарату. В свою чергу при її використанні, застосо-

вуючи відповідні технологічні підходи, можливо виправити конструкцію з будь-яким ступенем точності. Однак необхідно знати реакцію виправленої деталі на нагрівання та охолодження і як використовувати сили усадки при правці. Механізм виникнення пластичних деформацій при тепловій правці аналогічний виникненню пластичних деформацій при зварюванні. Сумарна величина залишкових пластичних деформацій при тепловій правці залежить від температури концентрованого нагріву і потужності джерела, розташування, розмірів, форм і кількості зон нагріву, розподілу внутрішніх напружень і податливості зон нагріву конструкції.

Все вищевикладене підтверджує доцільність використання термічної правки з місцевим нагріванням при виготовленні елементів несучих систем вантажних вагонів. Проте її використання обмежується відсутністю ефективної методики прогнозування формозміни деталі в процесі правки, а також визначення геометричних параметрів форми зони нагріву.

**Метою статті** є наукове обґрунтування вибору геометричних параметрів зон нагріву при термічній правці елементів несучих систем вантажних вагонів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Термічну правку зварних елементів напіввагона можна розглядати як непродуктивні витрати, величина залишкових пластичних деформацій при термічній правці залежить від максимальної величини і розподілу температури нагріву, потужності джерела нагріву, кількості та розташування місць нагріву, залишкових напружень і жорсткості конструкції, жорсткості зовнішнього закріплення і т.д. Таким чином, ефективність термічної правки залежить від великої кількості параметрів, що є основною проблемою при автоматизації такої технологічної операції. Один із шляхів вирішення цієї проблеми - вибір оптимальних параметрів нагріву, кількості та розташування зон нагріву на основі математичного моделювання процесу термічної правки.

Існуючі методики розрахунку температурних напружень та деформацій, які виникають при нагріванні, можна поділити на дві групи. До першої з них відносяться методики, які дозволяють визначити аналітичні середні за перерізом елемента деформації від положення зварних швів [7]. Їх недоліком є практично неможливість урахувати нерівномірність розподілу температур по перерізу при формуванні термонапруженого стану. Тому для моделювання процесів термічної правки вони не придатні. До другої групи відносяться методики, які дозволяють проводити розрахунок термонапруженого стану і деформацій при різному по перетину елемента розподілу температури, враховувати зміни термомеханічних характеристик (границі текучості, модуля пружності, коефіцієнта лінійного розширення) від температури, урахувати початковий напружений стан. В основу цих методик було закладено принципи теорії опору матеріалів та підхід до моделювання

термонапруженого стану при високотемпературних нагрівках [8, 9].

Розглядаючи основи теорії виникнення температурних напружень і деформацій, слід зазначити, що температурні деформації виникають при нагріві в тому випадку, коли є фактори, які стримують вільне температурне розширення тіла. Зазвичай до таких факторів відносять або конструктивні особливості, або нерівномірний нагрів. Температурні напруження, які виникають в тілах є наслідком температурних деформацій. В простому випадку, коли температура мала і матеріал деформується пружно, температурні напруження у відповідності з законом Гука пропорційні модулю пружності  $E$ , коефіцієнту лінійного розширення  $\alpha$  та зміні температури  $\Delta T$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \alpha \cdot \Delta T \cdot E. \quad (1)$$

З практичної точки зору більший інтерес представляють такі випадки, коли в матеріалі при нагріванні виникають помітні пластичні деформації. Це відбувається, як правило, при високих температурних градієнтах та порівняно високих температурах. Внаслідок зростання температур змінюються механічні характеристики матеріалу та вигляд діаграми напруження-деформації. Таким чином, при неоднорідному розподілі температури неоднорідними стають і властивості матеріалу. При високій температурі помітно посилюється ефект повзучості: напруження та деформації з плином часу змінюються. В багатьох випадках, зокрема при термічній правці, аналіз напружень суттєво ускладнюється тим, що температурні поля не є стаціонарними.

Для правки застосовують три види нагрівання: нагрів, який виконується симетрично відносно осі виробу, який не викликає появу згинаючого моменту; нагрів, який виконується несиметрично відносно осі виробу, який викликає в результаті остаточної пластичної деформації стискання появу моменту, який, згинаючи деформований виріб, приводить до його випрямлення; нагрів, розташований незалежно від осі симетрії, який викликає в результаті пластичної деформації стискання скорочення подовжених волокон виробу і внаслідок цього випрямлення конструкції. Для з'ясування фізичної сутності процесів, які відбуваються при правці місцевим нагріванням, розглянемо явище при нагріванні невеликої ділянки закріпленого стержня з маловуглецевої сталі. Нехай стержень, закріплений з обох кінців (рис. 1, *a*), нагрівається рівномірно по всьому перерізу на ділянці  $AA'BB'$ . Матеріал стержня знаходиться при цьому в різних фізичних станах: холодні ділянки стержня не змінюють своїх механічних властивостей, а нагрітий об'єм  $AA'BB'$  з підвищенням температури зменшує свою міцність та підвищує пластичність. Нагрітий об'єм  $AA'BB'$  є найбільш слабкою ланкою в силовому ланцюзі, тому що він буде відчувати пластичну течію при більш низьких напруженнях, ніж інші (холодні) ділянки металу. Опишемо процеси, які відбуваються в стержні за допомо-

гою діаграми (рис. 1, б) в координатах  $\sigma - T$  (напруження-температура). Ця діаграма отримана наступним чином. В координатах  $\sigma - T$  побудовані криві зміни границі текучості в залежності від зміни температури, при нагріванні та при охолодженні. Як відомо, границя текучості зменшується з підвищенням температури зразка. Потім за нею прямими зображені зміни напружень в дослідному зразку при зміні температури нагрівання. При нагріванні до температури  $T_A$  в стержні виникнуть та будуть зростати по прямій  $OA$  пружні напруження стискання. Ці напруження в точці  $A$  при температурі  $T_A$  досягнуть границі текучості.

Температура  $T_A$  визначається формулою

$$T_A = \frac{\sigma_T}{\alpha \cdot E}, \tag{2}$$

де  $\sigma_T$  – границя текучості;

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення;

$E$  – модуль пружності першого роду.

Слід вказати, що в практичних умовах реальна температура значно більша ніж та яка розраховується за формулою (2), тому що закріплення стержня мають деяку піддатливість.

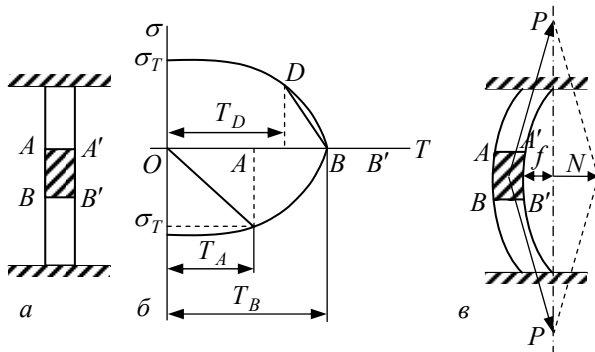


Рис. 1. Фізична сутність термічної правки  
а – закріплений стержень; б – діаграма;  
в – випрямлення стержня місцевим нагріванням

Якщо прийняти до уваги, що між холодною та нагрітою частинами стержня не існує області перепаду температур (вони якби розділені непроникливими для тепла перегородками) то при нагріванні об'єму  $AA'BB'$ , він подовжується, буде надавати тиск, який збільшується до границі текучості, на прилеглі частини стержня. Під дією цього тиску напруження стискання, які виникнуть в стержні, також збільшаться до границі текучості. При нагріванні вище  $T_A$  напруження в нагрітому об'ємі будуть зменшуватися за кривою зміни текучості в залежності від температури. При температурі  $600^\circ C$  вони будуть дорівнювати нулю, це пов'язано з тим, що метал при цій температурі знаходиться в пластичному стані. Волокна об'єму  $AA'BB'$  при подальшо-

му нагріванні подовжуються за залежністю  $\Delta l = \alpha \cdot T \cdot l$ , але з огляду на гальмування з боку холодних ділянок волокна пластично стискаються. При нагріванні стержня до температури більшої ніж  $600^\circ C$  подальше подовження його волокон не відбудеться. Це пов'язано з тим, що існують перегородки – холодні об'єми металу. Отже, пластична деформація – скорочення довжини об'єму  $AA'BB'$  – буде збільшуватися. На діаграмі (рис. 1, б) цей процес зобразиться відрізком прямої  $BB'$ , який співпадає з віссю абсцис. Після того як в точці  $B'$  нагрівання буде припинено, об'єм  $AA'BB'$  буде охолоджуватися до  $T_B$  та скорочуватися, продовжуючи зазнавати пластичні деформації. В точці  $B$  пластичний стан переходить в пружний. При цьому об'єм  $AA'BB'$ , скорочуючись при подальшому охолодженні, прагне відірватися від решти металу стержня, але зустрівши його протидію, він почне розтягуватися спочатку до точки  $D$  пружно по прямій  $BD$ , потім пружнопластично, так як напруження досягне границі текучості. У зв'язку з тим, що пластична деформація при температурі менше  $600^\circ C$  відбувається тільки під дією напружень, які дорівнюють границі текучості, пластичне розтягнення об'єму  $AA'BB'$  буде також відбуватися під дією напружень, що дорівнюють границі текучості. Цими напруженнями він і зостанеться розтягнутий при досягненні першочергової довжини. Таким чином, нагрівання до пластичного стану об'єму  $AA'BB'$  в закріпленому стержні викликає спочатку пластичну деформацію скорочення волокон по довжині ділянки, що нагрівається, потім після охолодження – пластичну деформацію подовження волокон всього стержня напруженнями розтягання, які дорівнюють границі текучості. Ці фізичні явища закладені в основу процесу правки місцевим нагрівом. Покажемо це на прикладі вигнутого стержня зі стрілою прогину  $f$  закріпленого в опорах нерухомо (рис. 1, в).

Нагрів об'єму  $AA'BB'$  до температури  $600^\circ C$  викликає пластичну деформацію скорочення довжини волокон та виникнення при охолодженні сил розтягання  $P$ , які скеровані по осі стержня. В свою чергу ці сили викличуть появу сили  $N$ , яка випрямляє стержень та, як слідство, зменшує стрілу прогину. Отже, для випрямлення зігнутого стержня необхідно вміти визначати довжину об'єму  $AA'BB'$ , що нагрівається, яка повинна бути такою, щоб фізичні явища, що виникають при нагріванні та охолодженні, призвели до повного його вирівнювання.

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 полозою або кружками, які розташовані один за одним в один ряд; нагрівання з використанням трикутників («клинів»); використання «клинів нагріву» в комбінації з полозою нагріву; застосування «хреста нагріву» в комбінації з полозою нагріву. Кількість полос, п'ятен, трикутників нагріву підбирається таким чином, щоб остаточні пластичні деформації от нагрівання зменшували існуючі деформації до допустимих величин.

На рис. 2 наведені форми місцевого нагрівання, які традиційно використовуються при термічній правці.

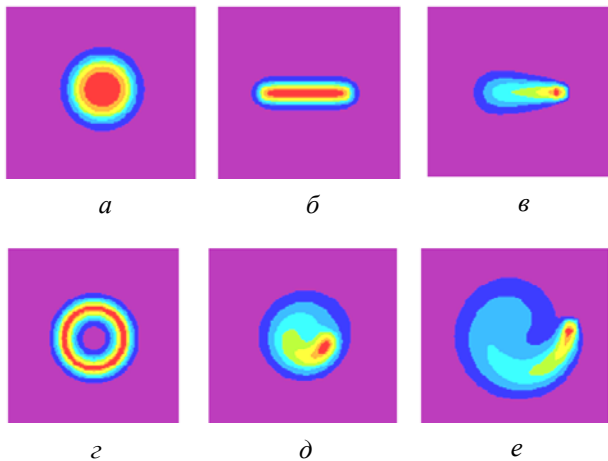


Рис. 2. Форми нагріву:

- а – кругле п'ятно нагріву;
- б – довга полоса розподілим джерелом нагріву;
- в – довга полоса джерелом нагріву, яке рухається;
- г – нагрів за кільцем розподілим джерелом;
- д – нагрів по кільцю джерелом, що рухається;
- е – нагрів по спіралі джерелом, що рухається

Аналізуючи представлені вище форми нагрівання приходимо до висновку, що згинаючий момент, необхідний для вирівнювання конструкції, можна отримати використовуючи повздовжнє, або поперечне скорочення металу конструкції. Прикладом використання повздовжнього скорочення металу при місцевому нагріванні є форма нагріву полозою. 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 термічної правки

елементів несучих систем вантажних вагонів доцільно використовувати поперечне скорочення металу та форму нагрівання у вигляді «клина» (рис. 3). Основною складністю при термічній правці є визначення розмірів та режимів нагрівання. Для їх встановлення авторами було проведено математичне моделювання процесу термічної правки балки хребтової напіввагону [2]. Нижче наведена розроблена авторами трифакторна узагальнена математична модель (отримана з використанням методу математичного планування експерименту), яка описує зміну основного показника (прогину балки  $\Delta y$ ) в залежності від варіювання керованих змінних (геометричних параметрів «клина» – ширини  $b$  та висоти  $h$ , а також температури нагрівання  $t$ )

$$\begin{aligned} \Delta y = & 1304,30333 - 55,074 \cdot b + 25,86856 \cdot h - \\ & - 0,90952 \cdot t + 0,21511 \cdot b^2 - 0,13489 \cdot h^2 + \\ & + 0,00108 \cdot t^2 + 0,115 \cdot b \cdot h + 0,0056 \cdot b \cdot t - \\ & - 0,00805 \cdot h \cdot t. \end{aligned} \quad (3)$$

Перевірка адекватності, наведеної вище математичної моделі, засвідчила її працездатність та можливість для подальшого використання.

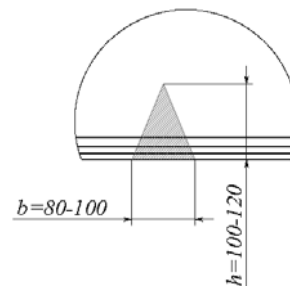


Рис. 3. «Клин» нагріву

На рис. 4 та рис. 5 в якості прикладу подано допоміжні графіки до визначення геометричних параметрів «клина» (при температурах нагрівання  $700^\circ\text{C}$  та  $790^\circ\text{C}$ ) на яких показані ізолінії (лінії рівних значень) прогину балки.

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Наведені в статті описання термічної правки з місцевим нагріванням зварних конструкцій, а також результати її математичного моделювання при правці хребтової балки напіввагону дозволяють провести обґрунтований вибір геометричних параметрів зон нагріву та можуть бути використані фахівцями при виготовленні елементів несучих систем вантажних вагонів.

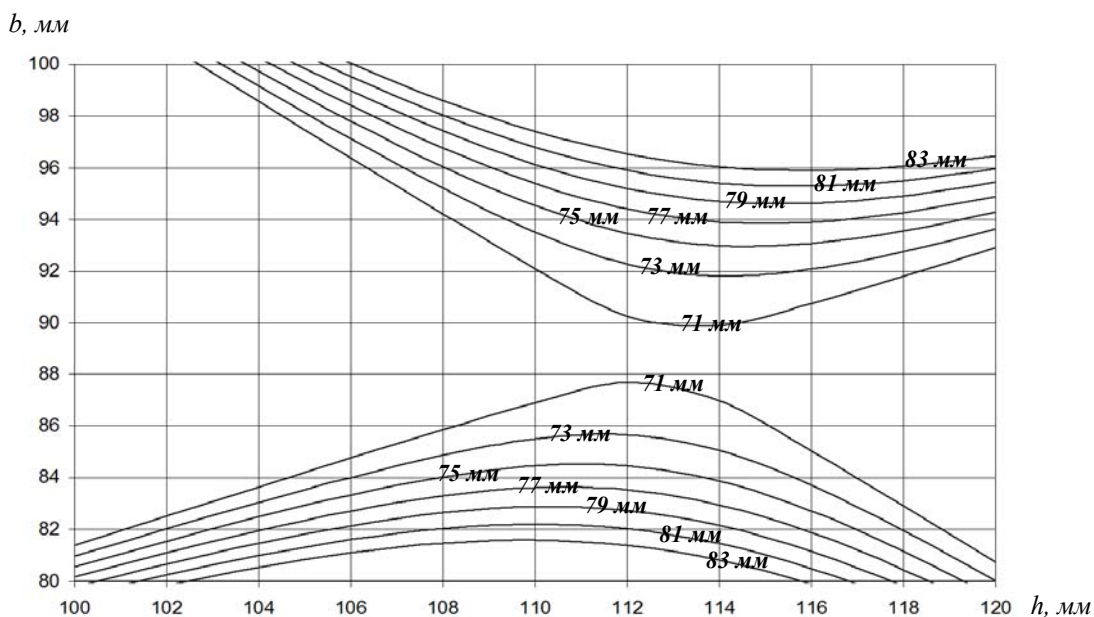


Рис. 4. Допоміжний графік до вибору розмірів «клина» ( $t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

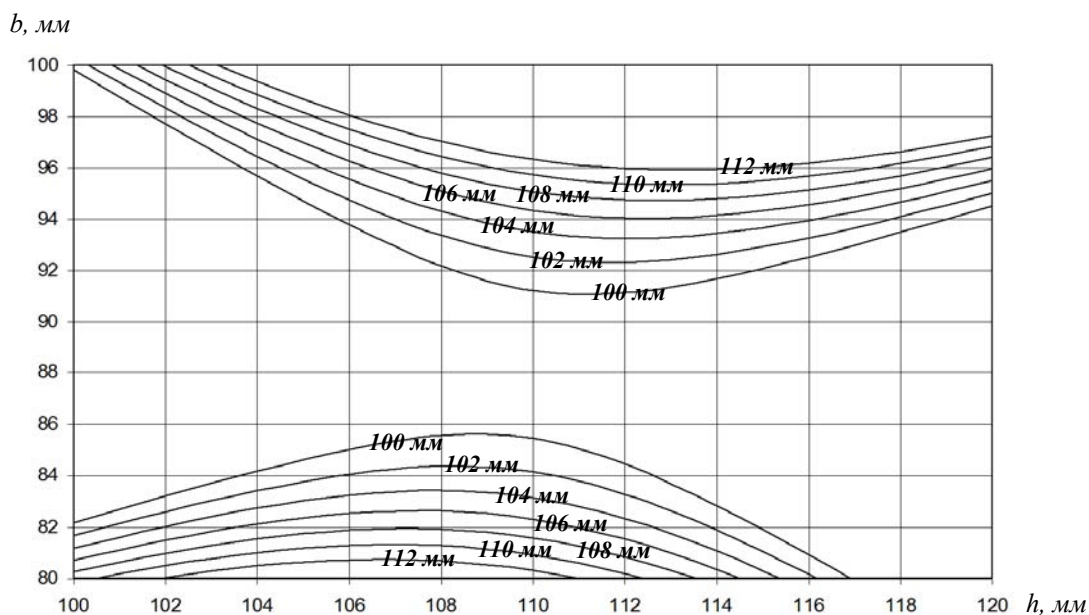


Рис. 5. Допоміжний графік до вибору розмірів «клина» ( $t = 790\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

**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. 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.
4. Бурлуцький О.В., Логвіненко О. А. Застосування математичного моделювання процесів правки при виготовленні елементів напіввагонів / О.В. Бурлуцький, О.А. Логвіненко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту (серія «Транспортні системи і технології»). – Київ: ДЕТУТ, 2016. – № 28. – С. 110-123.
5. 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)).
6. Речкалов С.Д. Напряженно-деформированное состояние сварных элементов кузова вагона для сыпучих металлургических грузов с учётом температурных воз-



- действий: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Речкалов Сергей Дмитриевич; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. – М., 1987. – 295 с. – Библиогр.: с. 174-186.
7. Шишкин В.Ю. Приближенный метод расчета укорочения элементов металлоконструкций / В.Ю. Шишкин, П.А. Храмов // Сборник "Прогрессивные методы обработки металлоконструкций. – Л.: Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1968. – 25 с.
  8. Пасек В.В. Сочетание применения АВМ и ЭВМ для исследования температурных деформаций и напряжений при термической правке сварных мостовых конструкций / В.В. Пасек // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Применение машинных методов для решения краевых задач". – М.: Сов. Радио, 1976. – с.10.
  9. Окерблом Н.О. Термические и усадочные напряжения в сварных металлоконструкциях / Н.О. Окерблом. – М.: ОНТИ, 1935. – 36 с.
  10. 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.

### References

1. Fomin O.V. Doslidzhennja defektiv ta poshkodzen' nesuchih sistem zaliznichnih napivvagoniv: monografija / O. V. Fomin. – Kii'v: DETUT, 2014. – 299 s.
2. Fomin O.V. Analiz ekspluatacijnyh poshkodzen' kuzoviv zaliznychnyh napivvagoniv / O.V. Fomin, O.V. Burlutskiy, V.V. Fomin // Budivnytstvo Ukraïny: naukovy-vyrobnychyj zhurnal. – 2013. – №3. – S. 37-48.
3. Burlutskiy O. V. Vyznachennja zvarjuval'nyh deformacij jaki vynykajut' pid chas zhyttjeвого cyklu napivvagona / O.V. Burlutskiy, N.S. Kocheshkova // Zbirnyk naukovyh prac' Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universytetu transportu (serija «Transportni systemy i tehnologii»). – Kyi'v: DETUT, 2015. – № 26-27. – s. 92-101.
4. Burlutskiy O.V., Logvinenko O. A. Zastosuvannja matematychnogo modeljuvannja procesiv pravky pry vygotovlenni elementiv napivvagoniv / O.V. Burlutskiy, O.A. Logvinenko // Zbirnyk naukovyh prac' Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universytetu transportu (serija «Transportni systemy i tehnologii»). – Kyi'v: DETUT, 2016. – № 28. – S. 110-123.
5. 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)).
6. Rechkalov S.D. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie svarnykh elementov kuzova vagona dlya sypuchikh metallurgicheskikh грузов s uchetom temperaturnykh vozdeystviy: dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.07 / Rechkalov Sergey Dmitrievich; Moskovskiy institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta. – М., 1987. – 295 s. – Bibliogr.: s. 174-186.
7. Shishkin V.Yu. Priblizhennyj metod rascheta ukorocheniya elementov metallokonstruktsiy / V.Yu. Shishkin, P.A. Khramov // Sbornik "Progressivnye metody obrabotki metallokonstruktsiy. – Л.: Leningradskiy dom nauchno-tehnicheskoy propagandy, 1968. – 25 s.
8. Pasek V.V. Sochetanie primeneniya АVМ i EVM dlya issledovaniya temperaturnykh deformatsiy i napryazheniy pri termicheskoy pravke svarnykh mostovykh konstruktsiy / V.V. Pasek // Tezisy dokladov Vsesoyuznoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Primenenie mashinnykh metodov dlya resheniya kraevykh zadach". – М.: Sov. Radio, 1976. – s.10.
9. Okerblom N.O. Termicheskie i usadochnye napryazheniya v svarnykh metallokonstruktsiyakh / N.O. Okerblom. – М.: ОНТИ, 1935. – 36 s.
10. OST 24.050.34-84 Proektirovanie i izgotovlenie stalnykh svarnykh konstruktsiy vagonov. Tekhnicheskie trebovaniya. – Vved. 1988-01-01. – М.: Izd-vo standartov, 1988. – 183 s.

### Фомин А.В., Логвиненко А.А., Бурлуцкий А.В. Научное обоснование выбора геометрических параметров зон нагрева при термической правке элементов несущих систем грузовых вагонов.

*В статье выделена роль транспортного машиностроения в ускорении социально-экономического развития страны. Отмечено, что к одной из его перспективных отраслей относится вагоностроение. Выделена роль сварочного производства при создании грузовых вагонов. Обоснована целесообразность использования метода термической правки при изготовлении элементов их несущих систем. Рассмотрена физическая сущность происходящих при правке с местным нагревом процессов. Приведены формы местного нагрева, которые используются при термической правке. Представлены результаты математического моделирования процесса термической правки балки хребтовой полувагона.*

**Ключевые слова:** вагоностроение, грузовые вагоны, несущие системы, сварные конструкции, термическая правка, формы местного нагрева, математическое моделирование.

### Fomin O., Logvinenko O., Burlutsky O. Scientific substantiation of the choice of geometric parameters of heating zones during thermal correction of elements of load-bearing systems of freight cars.

*It is noted that the main role in accelerating the country's social and economic development is assigned to the transport engineering industry. At the same time it is indicated that one of its promising sectors is the car-building. The main role of welding production in the creation of freight cars is singled out. The expediency of using the thermal straightening method in fabricating the elements of their bearing systems is substantiated. Consider the physical nature of the processes that occur when editing with local heating. Forms of local heating are used, which are used for thermal correction. It is established that when thermal correction of elements of non-existent systems of freight cars, it is expedient to use a transverse shortening of the metal and a form of heating in the form of a "wedge". The results of mathematical modeling of the process of thermal correction of a girder gondola beam are presented.*

**Keywords:** car building, freight cars, load-bearing systems, welded structures, thermal corrections, forms of local heating, mathematical modeling.

**Фомин О.В.** – д.т.н., профессор кафедры «Вагоны та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, e-mail: [fomin1985@list.ru](mailto: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](mailto: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](mailto:leha200681@mail.ru).

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