

the level of equivalent stresses is higher in a material with a high temperature coefficient of linear expansion (TCLE), with increasing temperature - with a lower TCLE. In a small area of the base metal near the outer surface at the junction with the interlayer and in the interlayer itself, a complex SS with radial, axial, circumferential and tangential stresses arises. The radial stresses at the junction of the interlayer-material with a large TCLE are compressive, and at the junction of the interlayer-material with a lower TCLE, they are tensile. Axial stresses increase sharply in a material with a larger TCLE and a decrease in a material with a lower TCLE, which causes them to become tensile stresses. Circumferential and tangential stresses increase linearly from zero at the center of the joint to a maximum at the periphery. Equivalent stresses are distributed fairly evenly along almost the entire joint. The nature of the distribution depends little on the thickness of the interlayer, however, the level of stress changes with a decrease in the relative thickness of the interlayer. In the case of an increase in the relative thickness of the interlayer, the equivalent stresses in it increase, which contributes to the activation of the formation of a joint between materials with different thermal expansion rods during diffusion welding with a soft interlayer.

Keywords: welded and brazed joints, soft interlayer, computer modeling, stresses state, elastic stage, joint force and thermal loading.

Рекомендована к публикации: д-р техн. наук, проф. Мочанов А. А.

Статья принята 10.10.2019 г.

УДК 621.791.753.5

doi.org/10.31498/2522-9990212019187191

Лаврова О. В., Иванов В. П., Кончаківський М. В., Рибалко О. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ ДВОМА СРІЧКОВИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ З КЕРОВАНИМ ПЕРЕНЕСЕННЯМ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ

Представлені результати дослідження ресурсозберігаючої технології наплавлення двома стрічковими електродами з контрольованим перенесенням електродного металу з торців стрічкових електродів і з регульованим співвідношенням швидкостей подачі стрічкових електродів. Для реалізації запропонованої технології наплавлення, розроблено пристрій, що дозволяє змінювати співвідношення швидкостей подачі першого і другого електродів в широкому діапазоні. За рахунок цього досягається контрольоване тепло-масоперенесення в зварювальну ванну. Відповідно, контрольоване оплавлення стрічкових електродів і розподіл теплової енергії в зварювальній ванні. Це дозволяє підвищити якість наплавлених виробів за допомогою простого і надійного ресурсозберігаючого пристрою.

Ключові слова: наплавлення під флюсом, механічне перенесення електродного металу, параметри режиму, доля участі основного металу.

Постанова проблеми.

Важливою проблемою є вирішення питання енергоефективності та забезпечення ресурсозберігаючої технології при напавленні стрічковим електродом. На теперішній час дослідники застосовують з цією метою контрольоване перенесення електродного металу з торцю стрічкового електроду. Встановлено, що при напавленні двома стрічковими електродами з контрольованим механічним тепло- масоперенесенням електродного металу підвищується продуктивність процесу. Однак, відсутні дослідження, в яких розглядається схема пристрою для наплавлення під флюсом двома стрічковими електродами з керованим переносом електродного металу з торців електродів.

Аналіз публікацій.

В роботі [1] наведено перерозподіл струмів в електродах, з можливістю регулювання теплового і газодинамічного впливу кожної з дуг на розплавлений метал зварювальної ванни, забезпечуючи тим самим рівномірний розподіл його течії по всьому фронту плавлення.

Відомий спосіб наплавлення стрічковим електродом під флюсом, в якому основа виконана з двох закріплених між собою частин, причому одна з частин верхніх і нижніх направляючих з'єднані один з одним шарніром [2-7]. Однак, відсутність можливості управляти часткою участі основного металу в наплавленому, а також формою зони проплавлення і складом наплавленого металу, стримує широке застосування зазначеного пристрою. Крім того, істотним недоліком запропонованого пристрою є вузький діапазон зміни параметрів перенесення, що не дозволяє застосувати даний пристрій до наплавлення двома стрічковими електродами, оскільки швидкості подачі першого і другого стрічкових електродів можуть істотно відрізнятись.

Мета роботи.

Метою цієї роботи є розробка пристрою для наплавлення під флюсом двома стрічковими електродами з контрольованим перенесенням електродного металу з торців стрічкових електродів в зварювальну ванну, а також визначення впливу параметрів режиму наплавлення на параметри проплавлення основного металу і стабільності проплавлення при використанні ресурсозберігаючої технології наплавлення двома стрічковими електродами.

Основні матеріали досліджень.

Для вирішення такого завдання розроблено пристрій для наплавлення двома стрічковими електродами з керованим механічним перенесенням, що дозволяє змінювати співвідношення швидкостей подачі першого і другого електродів в широкому діапазоні. Пристрій складається з двох пар роликів 3, 3', 4, 4' (рис.1), встановлених послідовно по ходу руху зварювальної головки. Момент, що обертає між парами роликів передається за допомогою шестерень 5 і 6, передавальне співвідношення яких визначає і співвідношення швидкостей подачі стрічок 1 і 2. Накладення зворотно-поступального руху торців на рівномірний рух подачі електродів здійснюється за рахунок ексцентрика 7, розташованого між електродами на виході з механізму подачі і періодично вигинає стрічки на кут α . При повороті ексцентрика на кут π стрічковий електрод за рахунок пружності повертається у вихідне положення, а його торець здійснює зворотний рух від зварювальної ванни, що полегшує скидання краплі в ванну. За рахунок цього досягається контрольоване тепло-масоперенесення в зварювальну ванну, відповідно, контрольоване оплавлення стрічкових електродів і розподіл теплової енергії в зварювальній ванні, що дозволяє підвищити якість наплавлених виробів за допомогою простого і надійного пристрою.

Дана конструкція дозволяє оптимізувати параметри імпульсного механічного перенесення і запобігти деформуванню стрічкових електродів, забезпечити почерговий зворотно-поступальний рух торців стрічкових електродів з оптимальними частотою і амплітудою. Це забезпечує оптимальні розміри наплавленого валика при можливості зменшення витрат електродного металу на втрати і перегрів, відповідно, енергії, що витрачається на плавлення і забезпечити ресурсозберігаючу технологію наплавлення.

Наплавлення здійснювали на пластини зі сталі Ст3 розмірами 35×280×400 мм на постійному струмі зворотної полярності стрічками 60×0,5 мм марок ЛН-02Х25Н22АГ4М2 та ЛН-02Х25Н13БТЮ під флюсами ОФ-10 і АН-26П. Параметри режиму наплавлення варіювалися в діапазоні: струм наплавлення $I = 900 \div 1400$ А, напруга надузі $U = 28 \div 40$ В, швидкість наплавлення $v_w = 5 \div 6,2 \cdot 10^{-3}$ м/с, зазор між електродами $\delta = 10 \div 16$ мм, співвідношення швидкостей подачі першого і другого електродів, $k = v_1/v_2 = 0,42 \div 0,79$. Зазор між стрічками забезпечувався товщиною мідного токопідведення. Використовуючи накладки на токопідвод різної товщини, змінювали величину зазору в досліджуваному інтервалі. Зміна

швидкостей подачі стрічок забезпечувалося змінними парами шестерень 5 та 6 (рис. 1) з співвідношенням зубів в межах зміни коефіцієнта k .

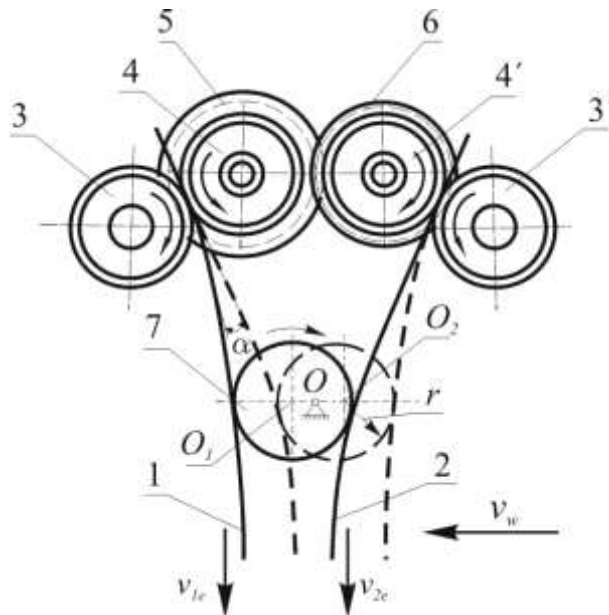


Рисунок 1 – Пристрій для наплавлення двома стрічковими електродами з контрольованим тепло- масоперенесенням електродного металу:
 1, 2 – стрічкові електроди; 3, 3', 4, 4' – притисні ролики;
 5, 6 – шестерні, 7 – ексцентриковий механізм

Дослідження проводилися на самохідній голівці А-874Н з приставкою для наплавлення під флюсом двома стрічковими електродами з керованим перенесенням електродного металу. Частота коливань стрічкових електродів f змінювалася за рахунок керування приводом обертання ексцентрикового механізму. Як джерело зварювального струму використовували випрямляч ВСЖ-1600. Виліт стрічкових електродів склав 60 мм. Під час експериментів фіксувалися геометричні розміри зон проплавлення і наплавлення, якість формування наплавленого шару, наявність незплавлення, підрізів та інших дефектів формування (рис. 2-4).

Встановлено, що геометричні параметри зон проплавлення і наплавлення прямо пропорційно залежать від величин струму наплавлення і напруги на дузі (рис. 2). Збільшення розмірів зони проплавлення призводить до відповідної зміни частки участі основного металу (ОМ) (рис. 3), хоча ця залежність є менш вираженою. Підвищення швидкості наплавлення призводить до більш вираженого зниження глибини проплавлення і частки участі, що можна пояснити збільшенням витрат тепла дуги на плавлення флюсу (рис. 4).

Це пояснюється тим, що визначальне значення для параметрів зони проплавлення в більшості випадків має перший стрічковий електрод. Дуга другого електрода не вплине безпосередньо на основний метал, а тільки через рідкий прошарок, наведено взаємодією дуги першого електрода, тому збільшення потужності дуги другого електрода при збільшенні швидкості подачі впливає, в основному, на тепловкладення в зварювальну ванну і площу зони наплавлення.

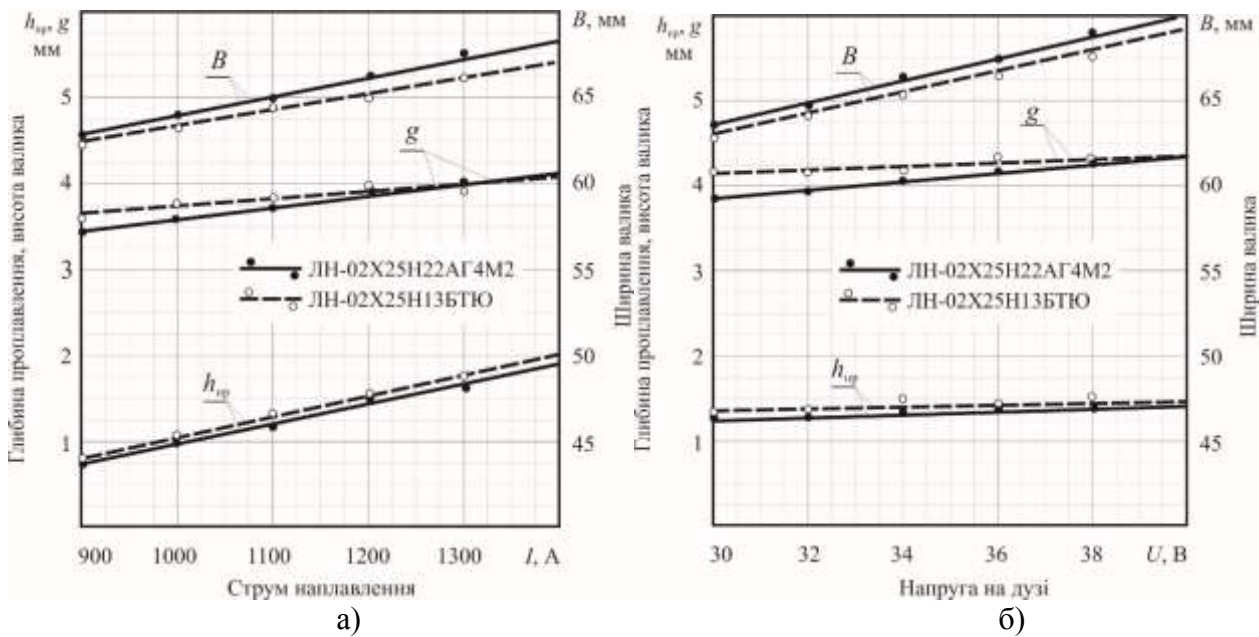


Рисунок 2– Вплив струму наплавлення I (а) та напруги на дузі U на геометричні розміри шву; $k = 0,5$; $f = 35$ Гц

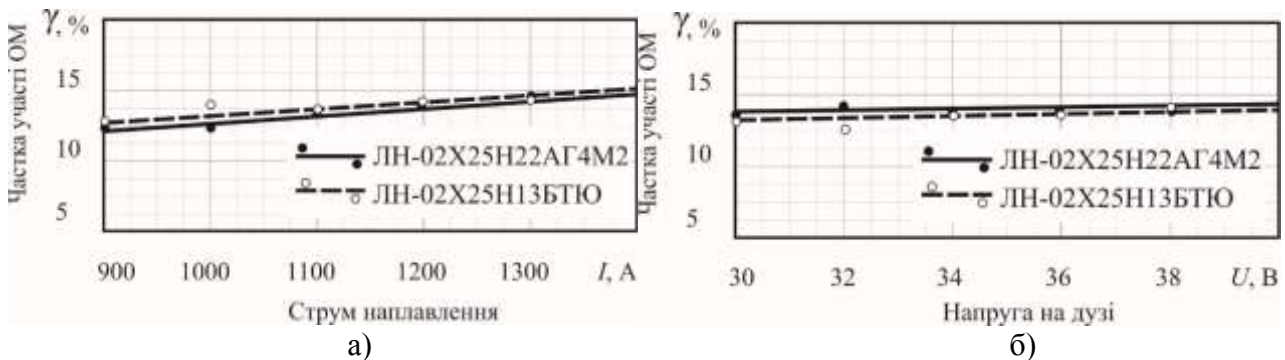


Рисунок 3 – Вплив струму наплавлення I (а) та напруги на дузі U на долю основного металу в наплавленому; $k = 0,5$; $f = 35$ Гц

Зміни співвідношення швидкостей подачі змінює вплив кожного з електродів на формування зони проплавлення, гідродинамічну обставину в зварювальній ванні і, відповідно, формування наплавленого валика. Збільшення швидкості подачі першого електрода призводить до збільшення глибини проплавлення і частки участі ОМ, в той же час зростання рідкого прошарку під другим електродом знижує його проплавляючу здатність, особливо на краях ванни. Оскільки центр ванни значно перегрітий, збільшення глибини проплавлення відбувається в основному по центру шва, в зоні активного перебігу рідкого металу, що призводить до нерівномірного формування лінії сплавляння, з можливістю утворення шлакових включень і напливів в зонах уповільненого руху рідкого металу. В цьому випадку висота посилення може бути нерівномірною по довжині шва, містити потовщення і западини на поверхні наплавленого валика.

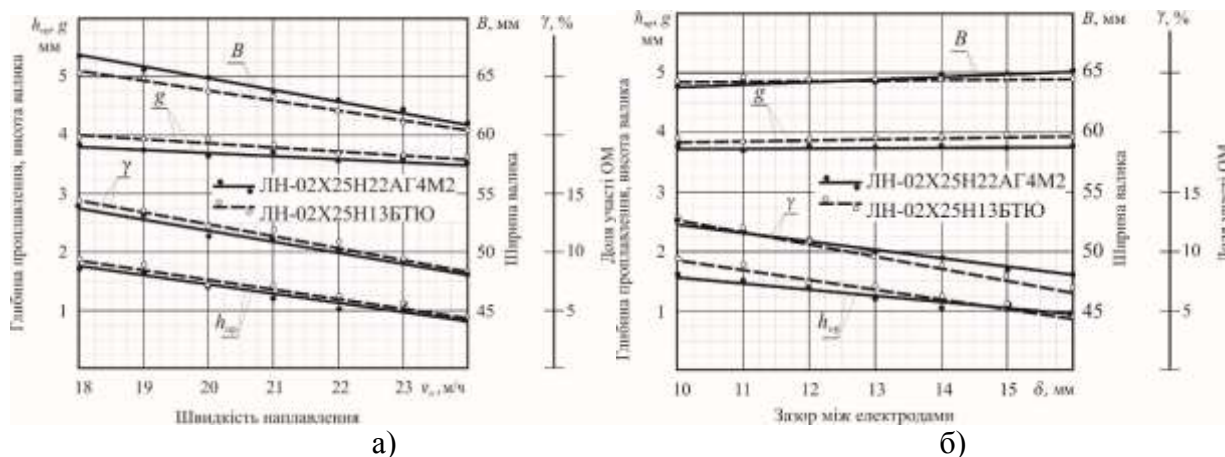


Рисунок 4 – Вплив швидкості наплавлення v_w (а) і зазору між стрічками δ (б) на геометричні параметри наплавленого шву; $k = 0,5$; $f = 35$ Гц

Розроблена конструкція дозволяє оптимізувати параметри імпульсного механічного перенесення і запобігти деформуванню стрічкових електродів, забезпечити почерговий зворотно-поступальний рух торців стрічкових електродів з оптимальними частотою і амплітудою. Це забезпечує оптимальні розміри наплавленого валика при можливості зменшення витрат електродного металу на втрати і перегрів, відповідно, енергії, що витрачається на плавлення і забезпечити ресурсозберігаючу технологію наплавлення.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено пристрій для наплавлення двома стрічковими електродами з керованим механічним перенесенням, що дозволяє змінювати співвідношення швидкостей подачі першого і другого електродів в широкому діапазоні.
2. Розроблений пристрій дозволяє здійснювати контрольоване тепло-масоперенесення в зварювальну ванну, відповідно, контрольоване оплавлення стрічкових електродів і розподіл теплової енергії в зварювальній ванні, що дозволяє підвищити якість наплавлених виробів за допомогою простого і надійного ресурсозберігаючого пристрою.

Список використаних джерел:

1. Лецинский, Л. К. Влияние технологических факторов на качество антикоррозионного слоя, наплавленного двумя электродными лентами / Л. К. Лецинский, В. П. Лаврик, О. Г. Касаткин // Автоматическая сварка. – 1986. – № 8. – С.49–53.
2. Пат.44885Україна, МПК В23К 9/12 (2009). Спосіб широкошарового наплавлення під флюсом стрічковим електродом / Лаврова О. В., Носовський Б. І. – № а200810823. – заявл. 01.09.2008; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.
3. CRA Weld Overlay - Influence of welding process and parameters on dilution and corrosion resistance / Kumar, V., Lee, C., Verhaeghe, G., Raghunathan, S. – Houston: Stainless Steel World America, 2010. – P. 64–71.
4. Ryabtsev, I. Computer system for automatic control of arc surfacing processes using electrode wires / I. Ryabtsev, V. Soloviov, A. Babinets // The Paton Welding Journal. – 2017. – N 6. –P. 34–36.

5. *Ivanov, V. P.* Improving the Efficiency of Strip Cladding by the Control of Electrode Metal Transfer / *V. P. Ivanov, E. V. Lavrova* // *Applied Mechanics and Materials*. –2014. – Vol. 682. –P. 266–269.

6. *Ivanov, V.* Development of the Device for Two-Strip Cladding with Controlled Mechanical Transfer / *V. Ivanov, E. Lavrova* // *Journal of Physics: Conference Series [Innovative Technologies in Engineering: IX International Scientific Pract. Conf. (Yurga, 24–26 May 2018 y.)]*. – 2018. – Vol. 1059. – 012020. – P. [1–6]. – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1059/1/012020/pdf>

7. Пат.113454 Україна, МПК В23К 9/04, В23К 9/133, В23К 9/022 (2006.01). Пристрій для наплавлення двома стрічковими електродами / *Іванов В. П., Лаврова О. В.* – № а201504899. – заявл. 19.05.2015; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.

Лаврова Е. В., Иванов В. П., Кончакивский М. В., Рибалко А. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ДВУМЯ ЛЕНТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПЕРЕНОСОМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА

Представлены результаты исследования ресурсосберегающей технологии наплавки двумя ленточными электродами с контролируемым переносом электродного металла с торцов ленточных электродов и с регулируемым соотношением скоростей подачи ленточных электродов. Для реализации предложенной технологии наплавки, разработано устройство, позволяющее изменять соотношение скоростей подачи первого и второго электродов в широком диапазоне. За счет этого достигается контролируемое тепло-массоперенос в сварочную ванну. Соответственно, контролируемое оплавления ленточных электродов и распределение тепловой энергии в сварочной ванне. Это позволяет повысить качество наплавленных изделий с помощью простого и надежного ресурсосберегающего устройства.

Ключевые слова: *наплавка под флюсом, механический перенос электродного металла, параметры режима, доля участия основного металла.*

Lavrova E. V., Ivanov V. P., Konchakivskiy M. V., Ribalko A. Y.

RESEARCH OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF SURROUND BY TWO BELT ELECTRODES WITH CONTROLLED ELECTRODE METAL TRANSFER

The results of the study of the resource-saving technology of surfacing with two tape electrodes with controlled transfer of electrode metal from the ends of tape electrodes and with an adjustable ratio of the speeds of supply of tape electrodes are presented. To implement the proposed surfacing technology, a device has been developed that allows changing the ratio of the feed rates of the first and second electrodes in a wide range. Due to this, controlled heat and mass transfer to the weld pool is achieved. Accordingly, controlled melting of tape electrodes and distribution of thermal energy in the weld pool. This allows you to improve the quality of the weld products using a simple and reliable resource-saving device.

This design allows you to optimize the parameters of pulsed mechanical transfer and prevent deformation of the tape electrodes, to provide alternate reciprocating movement of the ends of the tape electrodes with the optimal frequency and amplitude. This ensures optimal sizes of the deposited bead, with the possibility of reducing the consumption of electrode metal for losses and

overheating, respectively, of the consumed energy for melting and to ensure resource-saving surfacing technology.

The process of surfacing with two tape electrodes, even when using fluxes recommended for electric arc welding, partially proceeds as electroslag, since a certain fraction of the current is shunted by molten slag. This helps to reduce the depth of penetration and reduce the share of the base metal in the weld metal. The main advantage of surfacing with two tape electrodes is obtaining the deposited metal of the required chemical composition already in the 1st or 2nd layer, in contrast to single-electrode surfacing, where it is necessary to apply from 3 to 5 layers.

The results of studies of the influence of the oscillation frequency of ribbon electrodes showed that the maximum increase in the melting coefficient occurs when using the oscillation frequency in the range of 45-55 Hz, regardless of the other parameters of the mode.

Keywords: *submerged arc welding, mechanical transfer of electrode metal, mode parameters, base metal participation share.*

Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. Щетинін С. В.

Стаття надійшла 7.10.2019 р.

УДК 669-413

doi.org/10.31498/2522-9990212019187068

Лоза А. В., Рассохин Д. А., Носовский Б. И., Шишкин В. В.

ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В работе выполнен анализ процесса термической правки металлических изделий, который применяется для исправления дефектов формы стальных заготовок. Рассмотрены условия, необходимые для обеспечения деформирования заготовок. Проанализированы соотношения между толщинами нагреваемого и холодного слоев в деформируемом изделии. Выполнена проверка применимости известных рекомендаций по термоправке к элементам конструкций толщиной более 50 мм.

Ключевые слова: *термическая правка, нагрев заготовок, исправление формы, деформации, местный нагрев*

Постановка проблемы. В ряде случаев в технологических процессах происходит нагрев и тепловая деформация стальных изделий, например, при эксплуатации металлургического оборудования, или при сварке стальных заготовок. Как для металлургических узлов, так и для сварных конструкций искажение формы изделия даже на небольшом участке рабочей поверхности может значительно повлиять на корректность выполнения технологии, а также служебные характеристики изделия и срок его службы. Для ликвидации остаточных деформаций в стальных заготовках разработан ряд рекомендаций [1] с использованием принципов термической правки [1–5], которые применяются в различных областях промышленных технологий. В указанных рекомендациях были учтены результаты отечественных и зарубежных исследований по методам исправления остаточных деформаций. Однако в рекомендациях не конкретизированы максимальные размеры по толщине заготовок, которые могут использоваться для исправления геометрических размеров. В то же время на производстве, например, в металлургической отрасли, встречаются случаи, когда возникает необходимость исправить дефекты формы в изделиях значительной толщины. Такому вопросу не было посвящено специального исследования, поэтому он является актуальным.