

УДК 629.11

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-658-668>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА РЕМОНТНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

В.Е. Овсянников, В.И. Васильев

Курганский государственный университет,
г. Курган, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В конструкциях строительно-дорожных машин доля чугунных деталей в общей массе некоторых машин достигает 60%. Из данного материала изготавливаются блоки цилиндров, детали тормозных систем, маховики и т.д. Одной из основных причин эксплуатационных отказов (до 70%) строительно-дорожных машин является выход из строя узлов трения. Учитывая то, что контактирующие детали в данных узлах воспринимают нагрузку преимущественно поверхностными слоями, их работоспособность теряется при сравнительно небольших значениях размерного износа, хотя при этом массовый износ детали, как правило, не превышает 1%.

Материалы и методы. Был проведен комплексный технико-экономический анализ методов ремонта узлов трения. В результате было показано, что наилучшим сочетанием критериев обладает метод ремонтных размеров. Однако при традиционной технологии восстановления в ремонтный размер удаляется упроченный слой. При этом серый чугун возможно упрочнять лишь очень дорогими и трудоемкими методами, которые в условиях реального ремонтного производства не применимы. Рассматривается возможность использования нового метода упрочнения деталей из чугуна в ремонтном производстве.

Результаты. Разработанный способ позволяет упрочнять серый чугун с толщиной слоя до 3 мм. Отличительной особенностью является то, что твердость упрочненного слоя по толщине возрастает, при этом удается увеличить микротвердость по сравнению с исходным серым чугуном более чем в 2 раза. И получить износостойкость, сопоставимую с высокопрочным закаленным чугуном.

Обсуждение и заключение. В ходе исследований было выявлено, что лучшие результаты удастся получить при использовании печей с восстановительной атмосферой. Для расширения сферы применения способа предлагается использование специального приспособления, создающего необходимые условия в любой печи. Применение предлагаемых технических решений позволяет повысить эффективность ремонта деталей строительно-дорожных машин из серого чугуна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительно-дорожные машины, ремонт, серый чугун, упрочнение, анализ методов, проектирование операций.

Поступила 16.08.2019, принята к публикации 17.12.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность рецензентам статьи.

Для цитирования: Овсянников В.Е., Васильев В.И. Повышение эффективности метода ремонтных размеров при восстановлении деталей строительно-дорожных машин из серого чугуна. Вестник СибАДИ. 2019;16(6): 658–668. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-658-668>

© Овсянников В.Е., Васильев В.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-658-668>

RESTORATION OF THE CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES' DETAILS FROM GREY CAST IRON: IMPROVEMENT OF THE REPAIR DIMENSIONS' METHOD EFFICIENCY

Victor E. Ovsyannikov, Valery I. Vasilyev
Kurgan State University,
Kurgan, Russia

ABSTRACT

Introduction. The total mass of some grey cast iron details in construction and road machines reaches 60%. Cylinder blocks, parts of braking systems, flywheels, etc. are made of cast-iron. One of the main causes of operational failures (up to 70%) of construction and road machines is failure of friction units. Considering that the contacting parts in these units take the load mainly by surface layers. The operability looses at relatively small values of dimensional wear. Although mass wear of the part usually does not exceed 1%.

Materials and methods. The authors carried out a comprehensive technical and economic analysis of repair methods of friction assemblies. As a result, the best combination of criteria was the repair size method. However, the strengthened layer was removed to the repair dimension by conventional reconditioning technology. At the same time grey cast iron was strengthened only by very expensive and labor-intensive methods, which in conditions of real repair production were not applicable. The authors considered the possibility of using a new method of strengthening iron parts in repair works.

Results. The developed method strengthened grey cast iron with layer thickness up to 3 mm. The distinctive feature was that hardness of the strengthened layer in thickness increased. At the same time the microhardness increased in comparison with the initial grey iron more than 2 times and wear resistance became comparable to high-strength hardened steel.

Discussion and conclusions. The authors obtain the best results with the usage of reducing atmosphere furnaces. In order to expand the scope of the method, the researches proposed to use a special device creating the necessary conditions in any furnace. The application of the proposed technical solutions increases the efficiency of the construction and road machines' repair.

KEYWORD: construction and road machines, repair, grey cast iron, hardening, methods' analysis, design of operations.

Submitted 16.08.2019, revised 17.12.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS. Authors express their gratitude to the reviewers of the paper.

For citation: Ovsyannikov Victor E., Vasilyev Valery I. Restoration of the construction and road machines' details from grey cast iron: improvement of the repair dimensions' method efficiency. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16(6): 658–668 (in Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-658-668>

© Ovsyannikov V.E., Vasilyev V.I.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В конструкциях строительно-дорожных машин доля чугунных деталей в общей массе некоторых машин достигает 60%. Из данного материала изготавливаются блоки цилиндров, детали тормозных систем, маховики, головки цилиндров, гильзы, распределительные и карданные валы, корпусные детали и т.д. В зависимости от условий работы детали к материалу могут предъявляться различные требования, например, для кулачков и высоконагруженных валов чугуны легируют молибденом, хромом или никелем, что дает возможность произвести закалку детали. В случае интенсивного тепловыделения или больших перепадов температур (барабаны, тормозные диски и т.д.) поверхностный слой чугунных деталей склонен к появлению поверхностных трещин, поэтому его структура должна быть перлитной с шаровидным графитом.

Одной из основных причин эксплуатационных отказов (до 70%) строительно-дорожных машин является выход из строя узлов трения. Учитывая то, что контактирующие детали в данных узлах воспринимают нагрузку преимущественно поверхностными слоями, их работоспособность теряется при сравнительно небольших значениях размерного износа, хотя при этом массовый износ детали, как правило, не превышает 1%. Возникает необходимость в техническом воздействии по восстановлению ее работоспособности.

Как показывает практика, в настоящее время только 15–20% изношенных деталей строительно-дорожных и подъемно-транспортных машин из серого чугуна подвергаются восстановлению, а 40–60% утилизируются. Причем для того чтобы реализовать процесс утилизации и последующего изготовления новых деталей, требуются гораздо большие затраты природных и финансовых ресурсов и наносится значительный ущерб экологии.

Существует довольно большое количество методов восстановления и ремонта изношенных деталей пар трения строительно-дорожных и подъемно-транспортных машин, которые применимы, в том числе и для изделий из серого чугуна. На рисунке 1 представлена

классификация методов по виду технологического воздействия^{1,2,3} [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

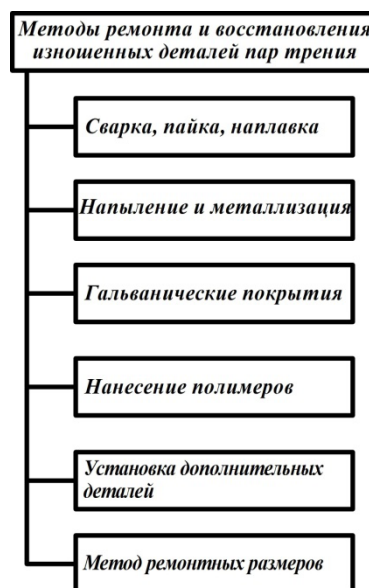


Рисунок 1 – Методы ремонта и восстановления деталей пар трения

Figure 1 – Methods of repair and restoration of friction pair parts

Целью работы является повышение эффективности ремонта деталей строительно-дорожных машин из серого чугуна на основе совершенствования метода обработки в ремонтный размер. Использование термодиффузионного поверхностного легирования дает возможность не проводить повторное упрочнение после обработки деталей в ремонтный размер.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сравнение технических и экономических возможностей методов удобно делать на основе использования метода анализа иерархий⁴. В рассматриваемом случае предполагается решение задачи для двух уровней иерархии по выбору из шести альтернатив по пяти критериям.

¹ Кристал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. М. : Металлургия, 1972. 400 с.

² Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электролитических покрытий. М. : Металлургия, 1989. 136 с.

³ Новиков А.Н. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей: учебное пособие / А.Н. Новиков, М.П. Стратулат, А.Л. Севостьянов. Орел :ОрелГТУ, 2006. 334 с.

⁴ Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1993. 278 с.

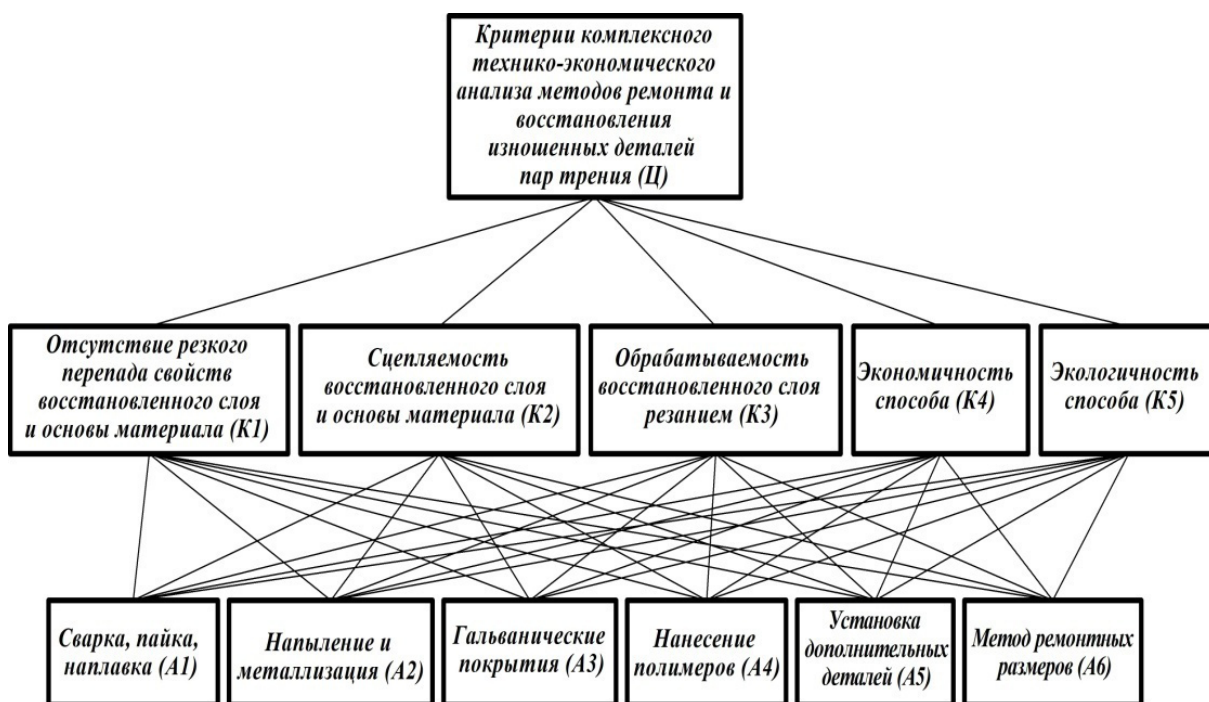


Рисунок 2 – Полная доминантная иерархия

Figure 2 – Full dominant hierarchy

Анализ будем проводить применительно к ремонту и восстановлению деталей из серого чугуна, т.к. данный материал достаточно трудно подвергается упрочнению.

Перечень альтернативных вариантов приведен на рисунке 2, а в качестве критериев можно выделить следующие:

1. Отсутствие резкого перепада свойств восстановленного слоя и основы (K1).
2. Сцепляемость восстановленного слоя и основы материала (K2) (количественно оценивается коэффициентом сцепляемости).
3. Обрабатываемость восстановленного слоя резанием (K3) (количественно оценивается коэффициентом обрабатываемости).
4. Экономичность способа (K4).
5. Экологичность способа (K5).

Первые три критерия оказывают непосредственное влияние на послеремонтную надежность, а критерии 4 и 5 являются допол-

нительными с точки зрения затрат и влияния на экологию и здоровье рабочих. Полная доминантная иерархия приведена на рисунке 2.

В уровне целей производилось последовательное парное сравнение критериев (K) по степени их влияния на цель. В уровне альтернатив сравнивались между собой варианты технологий ремонта (A) по каждому из критериев. В качестве исходных данных были рассмотрены результаты исследований по каждому методу ремонта^{5,6} [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. При вычислении численных значений коэффициентов использовалась шкала в баллах (от «абсолютно превосходит» (9 баллов) до «одинаковое влияние» (1 балл)). Расчеты проводились в программном пакете СППР Выбор 6.0 (рисунок 3).

⁵ Кристалл М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. М. : Металлургия, 1972. 400 с.

⁶ Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электролитических покрытий. М. : Металлургия, 1989.136 с.

Получение матрицы парных сравнений

Относительно фактора
Уровень Цели. Выбор метода
необходимо провести парное
сравнение следующих факторов
уровня
Уровень критериев

№	Фактор	Вес
1	Соответствие свойств	0,480
2	Высокая сцепляемость	0,290
3	Обрабатываемость	0,078
4	Экономичность	0,113
5	Экологичность	0,040

Матрица парных сравнений:

	1	2	3	4	5
1	1	5	3	5	5
2	1/5	1	6	6	6
3	1/3	1/6	1	1/4	4
4	1/5	1/6	4	1	3
5	1/5	1/6	1/4	1/3	1

Какой из факторов предпочтительнее?

☐ Соответствие свойств
☐ Соответствие свойств
☒ Одинаково важны
☐ Не могу сказать

Степень предпочтения:

Абсолютно превосходит
 Промежуточное значение
 Значительно превосходит
 Промежуточное значение
 Существенно превосходит
 Промежуточное значение
 Умеренно превосходит
 Промежуточное значение
 Одинаково важны

$\lambda = 6,088$
 $IC = 0,272$
 $OC = 0,243$

Рисунок 3 – Пример заполнения матрицы для уровня целей

Figure 3 – Example of filling a matrix for the goals' level

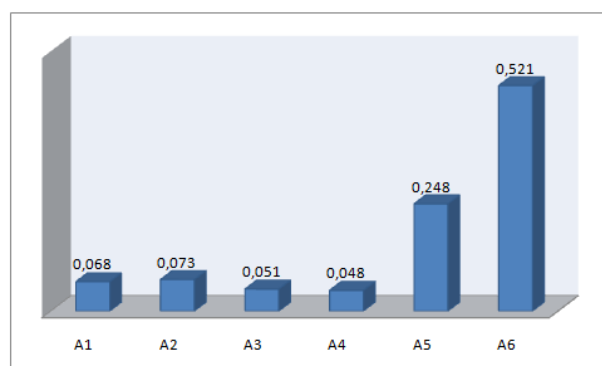


Рисунок 4 – Результаты комплексного технико-экономического анализа методов ремонта и восстановления изношенных деталей пар трения

Figure 4 – Results of complex technical and economic analysis of methods of repair and restoration of worn-out parts of friction pairs

Итоговое значение коэффициента является произведением коэффициентов на двух уровнях. На рисунке 4 приведены результаты комплексного технико-экономического анализа методов ремонта и восстановления изношенных деталей строительно-дорожных и подъемно-транспортных машин.

Из рисунка 4 следует, что наилучшим сочетанием критериев обладает альтернатива A6 (метод ремонтных размеров). Однако одним из существенных обстоятельств, которое препятствует более широкому внедрению данного метода в практику, является проблема с восстановлением физико-механических

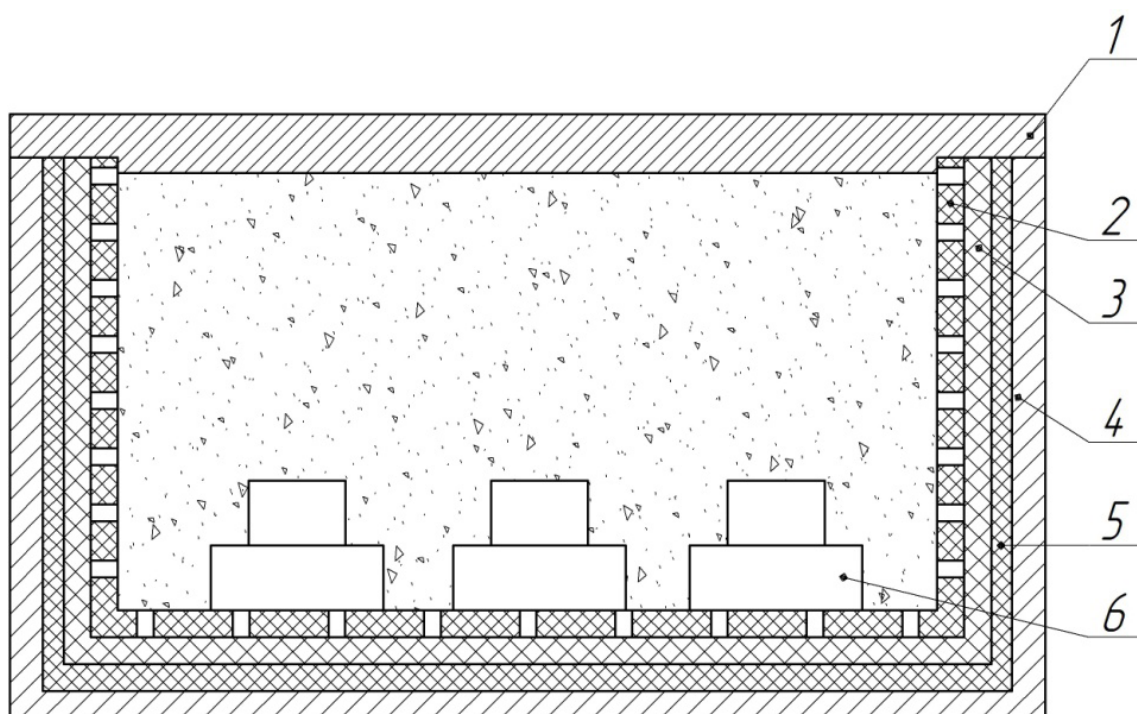


Рисунок 5 – Принципиальная схема приспособления для термодиффузионного поверхностного легирования

Figure 5 – Schematic diagram of the device for thermal diffusion surface alloying

свойств поверхностного слоя, т.к. большинство методов упрочнения серого чугуна малоприменимо в условиях реального ремонтного производства, чаще всего небольшой мощности. Таким образом, необходимо разработать такой способ поверхностного упрочнения серого чугуна, который не требует применения сложного и дорогостоящего оборудования, а также высокой квалификации рабочих.

Принципиально процесс термодиффузионного поверхностного легирования можно выполнять в любой печи. Однако исследования [12, 21] показали, что лучшее качество получается при использовании печей с защитной атмосферой. Данное оборудование является более дорогостоящим и сложным в обслуживании. Выходом из данной ситуации является использование приспособления⁷, которое позволяет создать восстановительную атмосферу. Конструкция приспособления приведена на рисунке 5.

Приспособление включает в себя металлический ящик 4, который закрывается

крышкой 1. Ящик обложен пластинами из графита 3, которые окисляясь, образуют восстановительную атмосферу из оксида углерода. Пластины из графита изолированы от ящика и деталей 5 посредством прокладок 2. Причем одна из прокладок выполнена пористой, для того чтобы газ CO поступал в активную зону (образуя защитную атмосферу). Прокладки используются, чтобы предотвратить процесс под плавления деталей и ящика от контакта с графитовыми пластинами. Внутрь ящика засыпается оксид легирующего элемента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Были проведены исследования процесса термодиффузионного поверхностного легирования в электрической печи с использованием приспособления (см. рисунок 5). На рисунке 6 приведены графики зависимости микротвердости по толщине слоя при упрочнении взаимодействием с оксидом молибдена.

⁷ Патент RU № 186172. Устройство для диффузионного легирования // Овсянников В.Е., Васильев В.И.; заявитель и патентообладатель Курганский государственный университет. Оpubл. 11.01.2019. Бюл. № 2.

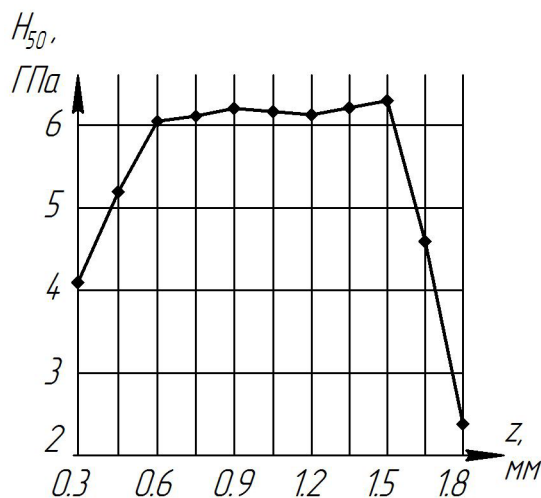


Рисунок 6 – Распределение микротвердости по толщине слоя оксид MoO_2 , температура выдержки 1100°C , время выдержки 4 ч

Figure 6 – Distribution of microhardness across layer thickness MoO_2 oxide, holding temperature 1100°C , holding time 4 h

Как можно видеть из рисунка 6, микротвердость слоя по толщине возрастает, при этом удается ее увеличить по сравнению с исходным серым чугуном более чем в 2 раза и получить износостойкость, сопоставимую с высокопрочным закаленным чугуном [22]. На поверхности диффузионного слоя (от 0 до 0.3 мм) находится ферритная кайма, поэтому

минимальное значение толщины слоя на рисунке 6 составляет 0.3 мм. В целом микротвердость упрочненного слоя существенно выше, чем основы чугуна. Данные подтверждаются металлографией. На рисунке 7 приведена микроструктура границы упрочненного слоя и основы чугуна.

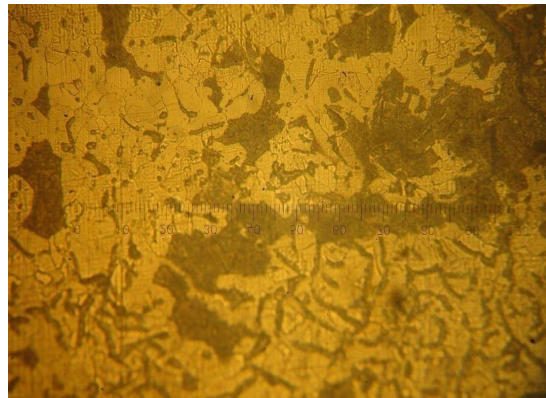


Рисунок 7 – Микроструктура границы упрочненного слоя и основы чугуна $\times 400$

Figure 7 – Boundary microstructure Strengthened layer and iron base $\times 400$

На рисунке 8 приведены зависимости толщины упрочненного слоя от режимов (времени выдержки t , ч и температуры в печи t , $^\circ\text{C}$).

Как можно видеть из рисунка 8, толщина упрочненного слоя достигает 1–3 мм, что существенно больше, чем при использовании аналогов^{8, 9}[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

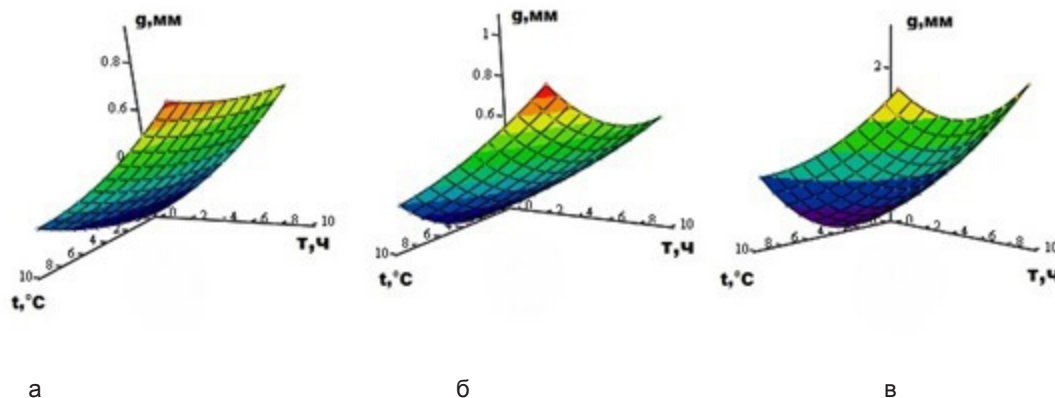


Рисунок 8 – Зависимости толщины упрочненного слоя от режимов а – оксид FeO ; б – оксид Cr_2O_3 ; в – оксид MoO_2

Figure 8 – Dependences of the thickness of the hardened layer on the modes а – FeO oxide; б – Cr_2O_3 oxide; в – MoO_2 oxide

⁸ Кристал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. М. : Металлургия, 1972. 400с.

⁹ Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электролитических покрытий. М. : Металлургия, 1989.136 с.

Таблица

Исходные данные для технико-экономического анализа методов

Table

Initial data for technical and economical methods' analysis

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателей			q_i	
		YLR 3000	Традиц. технол. диф. хром	Разработанная технол.		
1	Производительность установки, шт/смену	3	4	4	1,3	1
2	Толщина упрочненного слоя, мм	0,2	0,6	1,08	5,4	1.8
3	Мощность оборудования, кВт	20	16	10	2	1.6
4	Относительная износостойкость упрочненного слоя	4	4	4	1	1
5	Требуемая площадь, м ²	5	4	3	1	1,6
6	Стоимость установки, тыс. руб.	2500	650	100	25	6.5

При этом процесс ремонта с использованием указанного выше способа упрочнения серого чугуна можно представить следующим образом:

1. Термодиффузионное поверхностное легирование. Детали помещаются в контейнер, засыпаются порошком оксидов легирующих, выдерживаются в печи при температуре от 900 до 1100 °С в течение 2–8 ч.

2. Выполняется закалка. В работах [12, 21, 23, 24, 25] установлено, что можно применять нагрев в печи.

3. Выполняется финишная механическая обработка с целью получения необходимой величины ремонтного размера.

В рассматриваемом методе используются оксиды легирующих элементов, что делает процесс более дешевым. Проведем сравнение эффективности использования предлагаемого варианта реализации технологии с традиционными методами диффузионного легирования и лазерной закалкой. В таблице приведены исходные данные для технико-экономического анализа методов на примере корпуса редуктора.

Сравнительную оценку будем производить на основании расчета коэффициентов технического уровня:

$$K_{TY1} = \frac{1.3 + 5.4 + 2 + 1 + 1 + 25}{6} = 5.95$$

$$K_{TY2} = \frac{1 + 1.8 + 1.6 + 1 + 1.6 + 6.5}{6} = 2.3.$$

Как видим, эффективность ремонта с использованием рассматриваемой технологии выше, чем при традиционных подходах.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили сделать ряд выводов:

1. На поверхности детали из серого чугуна возможно получить упрочненный слой толщиной до 3 мм, что на порядок больше, чем при использовании аналогов (лазерной закалки).

2. Получаемый характер изменения твердости позволяет расширить сферу применения метода ремонтных размеров для деталей из серого чугуна. После удаления слоя материала при обработке в ремонтный размер, учитывая, что толщина упрочненного слоя превышает 1 мм, не возникает необходимости в повторном упрочнении.

3. Предлагаемый метод термодиффузионного поверхностного легирования можно использовать в технологических процессах изготовления деталей в условиях ремонтного производства, т.к. его реализация не требует сложного дорогостоящего оборудования и расходных материалов. Помимо этого процесс упрочнения довольно простой и не требует рабочих высокой квалификации.

4. В результате расчетов технического уровня было установлено, что эффективность ремонта с использованием рассматриваемой технологии выше, чем при традиционных подходах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Майоров В.С., Майоров С.В. Закалка чугуновых деталей излучением твердотелого лазера // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2009. №3. С. 6–8.

2. Эдигаров В.Р., Алимбаева Б.Ш., Перков П.С. Комбинированная электромеханоультразвуковая обработка поверхностных слоев деталей машин // *Вестник СибАДИ*. 2017. 2(54). С. 42–47. DOI:10.26518/2071-7296-2017-2(54)-42-47.

3. Коротаев Д.Н., Иванова Е.В. Особенности формирования функциональных покрытий при электроискровом модифицировании металлических материалов // *Вестник СибАДИ*. 2017. (3(55)). С. 62–68. DOI:10.26518/2071-7296-2017-3(55)-62-68.

4. Nisitani H., Tanaka S., Todaka T. Relation between microcrack and coxing effect of aged 0,15% C steels after quenching at low temperatures // *J. Soc. Mat. Sei Japan*. 1980. №26. p. 317.

5. Cooper R.E., Rowland W.D., Beasley D. Atom. Weapons Res Estable // *Atom Energy Auth Rept*. 1971. 0,25/71. pp. 32–36.

6. Plenard E/ Cast iron damping capacity, structure and property relation // *Modern Castings*. 1962. V41/ pp. 14–26.

7. Gilbert G.N. Variation of the microstructure of flake graphite cast iron after stressing in tension and compression // *BCJRA Journal*. 1964. 1. p. 18–25.

8. Lampman S., Introduction to surface hardening of steels, ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating, ASM International, Materials Park, OH, 1997. pp. 259–267.

9. Ruglic T., Flame hardening, ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating, ASM International, Materials Park, OH. pp. 268–285, 1997.

10. John C. Ion, "Laser processing of Engineering Materials", Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

11. Rana J, Goswami G L, Jha S K, Mishra P K, Prasad B V S SS, 2007, "Experimental studies on the micro structure and hardness of laser – treated steel specimens", *Optics and Laser Technology*, 39, pp. 385–393.

12. Гуревич Ю.Г., Овсянников В.Е., Фролов В.А. Влияние катализатора (железа) на взаимодействие оксидов с основой феррито-перлитного серого чугуна, обеспечивающее закалку и диффузионное легирование: монография. Курган: Изд-во КГУ, 2013. 102 с.

13. Агеев Е.В., Агеева Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных средств // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2011. №3. С. 503–508.

14. Бурмукулов Ф.Х., Окин М.А., Иванов В.И. Влияние физико-механических свойств и остаточных напряжений электроискровых покрытий на износостойкость соединений // *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2009. N 2. С. 17–23.

15. Нефедов И.С. Восстановление изношенных деталей машин при помощи дополнительных ремонтных деталей, изготовленных методами ад-

дитивных технологий // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2018. №11. С. 15–17.

16. Огин П.А. Структура и свойства зон перекрытия при лазерной закалке сталей и чугунов // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2015. №2 (32). С. 130–135.

17. Слинко Д.Б., Капошко Д.А. Обеспечение эффективности наплавочных технологий при упрочнении рабочих органов почвообрабатывающих машин // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*, 2018. № 11. С. 43–48.

18. Новкунский А.В., Новкунский А.А., Туманян М.О., Щулькин Л.П. Совершенствование конструкции и технологии ремонта конвейерного оборудования // *Вестник СибАДИ*. 2016. №2(48). С. 13–18. doi.org/10.26518/2071-7296-2016-2(48)-13-18.

19. Редреев Г.В., Евстифеев В.В., Ключев И.А. Формирование защитного состава на поверхности деталей нагруженных пар трения // *Вестник СибАДИ*. 2015. №5(45). С. 36–38. doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5(45)-36-38.

20. Кузнецова В.Н., Ярмович Я.В. Пути увеличения ресурса элементов дробильно-размольного оборудования // *Вестник СибАДИ*. 2017. №1(53). С. 19–23. doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1(53)-19-23.

21. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Ziganshin R.A. Using surface diffusion hardening in the manufacturing and repair technology of industrial vehicle components // *International journal of mechanical engineering and technology*. 2017. №9. pp. 399–406.

22. Овсянников В.Е. Васильев В.И. К вопросу применимости расчетного метода оценки сопротивления износу деталей после термодиффузионного упрочнения // *Вестник СибАДИ*. 2018. №3 (61). С. 412–420.

23. Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G., Marfitsy V.V., Frolov V.A. Surface hardening of parts from ferrite-pearlite gray iron // *Vetal science and head treatment*. 2011. pp. 318–321.

24. Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G., Frolov V.A. Development of technology for strengthening gray iron components by heating with iron scale // *Metallurgist*. 2012. pp. 526–529.

25. Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G., Frolov V.A. Diffusion chromizing of grey iron by reaction with // *Metallurgist*. 2012. pp. 854–858.

REFERENCES

1. Mayorov V.S., Mayorov S.V. Training of pig-iron details irradiation of the solid laser [Zakalka chugunnyh detalej izlucheniem tverdotelogo lazera]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov*. 2009; 3: 6–8 (in Russian).

2. Edigarov V.R., Alimbaeva B.S., Perkov P.S. Combined electromechanoultrasonic processing of surface coating of machinery. *Vestnik SibADI*. 2017; (2(54)): 42–47 DOI:10.26518/2071-7296-2017-2(54)-42-47 (in Russian).

3. Korotaev D.N., Ivanova E.V. Features of formation of functional coverings at electrospray modifying of

- metal materials. *Vestnik SibADI*. 2017; (3(55)): 62–68. DOI:10.26518/2071-7296-2017-3(55)-62-68 (in Russian).
4. Nisitani H., Tanaka S., Todaka T. Relation between microcrack and coxing effect of aged 0,15% C steels after quenching at low temperatures. *J. Soc. Mat. Sei Japan*. 1980; 26: 317.
5. Cooper R.E., Rowland W.D., Beasley D. Atom. Weapons Res Estable. Atom Energy Auth Rept. 1971. 0,25/71: 32–36.
6. Plenard E/ Cast iron damping capacity, structure and property relation. *Modern Castings*. 1962. V41/ p. 14–26.
7. Gilbert G.N. Variation of the microstructure of flake graphite cast iron after stressing in tension and compression. *BCJRA Journal*. 1964; 1: 18–25.
8. S. Lampman, Introduction to surface hardening of steels, ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating, ASM International, Materials Park, OH, pp. 259-267, 1997.
9. T. Ruglic, Flame hardening, ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating, ASM International, Materials Park, OH. 1997: 268–285.
10. John C. Ion, "Laser processing of Engineering Materials", Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
11. Rana J, Goswami G L, Jha S K, Mishra P K, Prasad B V S S, 2007, "Experimental studies on the micro structure and hardness of laser – treated steel specimens", *Optics and Laser Technology*, 39, 385–393.
12. Gurevich Yu.G., Ovsyannikov V.E., Frolov V.A. *Influence of the catalyst (iron) on the interaction of oxides with a basis of ferrite-perlitny gray cast iron providing training and diffusive alloying* [Vliyanie katalizatora (zheleza) na vzaimodejstvie oksidov s osnovoy ferrito-perlitnogo serogo chuguna, obespechivayushchee zakalku i diffuzionnoe legirovanie]: monograph. Kurgan: KGU publishing house, 2013: 102.
13. Ageev E.V., Ageeva E.V. Improving the quality of repair and restoration of parts of modern vehicles [Povyshenie kachestva remonta i vosstanovleniya detalej sovremennykh transportnykh sredstv] // *News of the TulState University. Technical sciences*. 2011; 3: 503–508 (in Russian).
14. Burumkulov F. H., Okin M.A., Ivanov V.I. Influence of physical and mechanical properties and residual stresses of electric spark coatings on wear resistance of joints [Vliyanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv i ostatochnykh napryazhenij elektroiskrovnykh pokrytij na iznosostojkost' soedinenij]. *Repair, reconstruction, modernization*. 2009; 2: 17–23 (in Russian).
15. Nefedov I.S. Restoration of worn-out parts of machines with the help of additive technologies [Vosstanovlenie iznoshennykh detalej mashin pri pomoshchi dopolnitel'nykh remontnykh detalej, izgotovlennykh metodami additivnykh tekhnologij]. *Repair. Restoration. Modernization*. 2018; 11: 15-17 (in Russian).
16. Ogini P.A. Structure and properties of overlap zones during laser hardening of steels and cast irons [Struktura i svoystva zon perekrytiya pri lazernoj zakalke stalej i chugunov]. *Vector of science of Tolyatin State University*. 2015; 2 (32):130–135 (in Russian).
17. Slinko D.B., Kaposko D.A. Ensuring efficiency of build-up technologies at strengthening of working tools of tillage machines [Obespechenie effektivnosti naplavochnykh tekhnologij pri uprochnenii rabochnih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin]. *Repair. Restoration. Modernization*. 2018; 11: 43–48 (in Russian).
18. Novkun A.V., Novkun A.A., Tumanyan M.O., Schulkin L.P. *Improvement of the design and technology of repair of conveyor equipment* [Sovershenstvovanie konstrukcii i tekhnologii remonta konveyernogo oborudovaniya]. *Vestnik SibADI*. 2016; 2 (48):13-18. doi.org/10.26518/2071-7296-2016-2(48)-13-18 (in Russian).
19. Redreev G.V., Evstifeev V.V., Kluev I.A. Formation of protective composition on the surface of parts of loaded friction pairs [Formirovanie zashchitnogo sostava na poverhnosti detalej nagruzhennykh par treniya]. *Vestnik SibADI*. 2015; 5 (45): 36-38. doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5(45)-36-38 (in Russian).
20. Kuznetsova V. N., Yarmovich Y.V. *Ways to increase the resource of elements of crushing and grinding equipment*. *Vestnik SibADI*. 2017; 1 (53):19-23. doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1(53)-19-23 (in Russian).
21. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Ziganshin R.A. Using surface diffusion hardening in the manufacturing and repair technology of industrial vehicle components. *International journal of mechanical engineering and technology*. 2017; 9: 399–406.
22. Ovsyannikov V.E., Vasilyev V.I. To the question of applicability of calculation method of assessment of resistance to wear of details after thermal diffusion hardening [K voprosu primenimosti raschetnogo metoda ocenki soprotivleniya iznosu detalej posle termodiffuzionnogo uprochneniya]. *Vestnik SibADI*. 2018; 3 (61): 412–420 (in Russian).
23. Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G., Marfity V.V., Frolov V.A. Surface hardening of parts from ferrite-pearlite gray iron. *Metal science and heat treatment*. 2011: 318–321.
24. Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G., Frolov V.A. Development of technology for strengthening gray iron components by heating with iron scale. *Metallurgist*. 2012: 526–529.
25. Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G., Frolov V.A. Diffusion chromizing of grey iron by reaction with. *Metallurgist*. 2012: 854–858.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Васильев В.И. Организация работы авторского коллектива, проработка концепции исследования (50%).

Овсянников В.Е. Проработка теоретического материала, создание модели, вычисление и анализ результатов (50%).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Valery I. Vasilyev – 50% of the organization of the author's research process; elaboration of the research concept.

Victor E. Ovsyannikov – 50% of the study of theoretical material; model's creation; calculation and analysis of results.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Овсянников Виктор Евгеньевич – канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-8775-0781, доц. кафедры «Автоматизация производственных процессов», Курганский государственный университет, (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, imk@kgsu.ru, vik9800@mail.ru).*

Васильев Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-1130-2181, проф. кафе-

дры «Автомобильный транспорт», Курганский государственный университет, (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, atas@mail.ru, vviprof@rtural.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victor E. Ovsyannikov – Cand. of Sci. (Engineering), ORCID 0000-0002-8775-0781, Associate Professor of the Production Processes' Automation Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, 63/4, Sovetskaya St., e-mails: imk@kgsu.ru, vik9800@mail.ru).*

Valery I. Vasilyev – Dr. of Sci. (Engineering), ORCID 0000-0002-1130-2181, Professor of the Automobile Transport Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, 63/4, Sovetskaya St., e-mails: atas@mail.ru, vviprof@rtural.ru).