

УДК 621.789

**КОМПЛЕКСНОЕ ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПОВЕРХНОСТНЫМ  
И ОБЪЕМНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ**

*КОНСТАНТИНОВ В.М.<sup>1</sup>, докт. техн. наук, профессор,  
ТКАЧЕНКО Г.А.<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент,  
ЩЕРБАКОВ В.Г.<sup>1</sup> ст. преподаватель  
(<sup>1</sup>БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)*

**Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Щербаков В.Г.**

220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65,  
Белорусский национальный технический университет  
e-mail: vm.konstantinov@bntu.by

**Аннотация**

Приведены результаты разработки концептуального подхода, позволяющего повысить долговечность корпуса плуга за счет комплексного упрочнения всех быстроизнашиваемых деталей узла (индукционная наплавка, ХТО, ТО). Промышленная реализация предложенных научно-технических решений позволит расширить конкурентные возможности почвообрабатывающих агрегатов и обеспечить более широкое импортозамещение.

**Ключевые слова:** абразивная износостойкость, поверхностное упрочнение, химико-термическая обработка, индукционная наплавка, термическая обработка.

Исследования, посвященные использованию металлических отходов производства в качестве основы для получения диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов, проводятся длительное время [1-5]. ДЛ сплавы находят применение в современной промышленности. Были проведены обширные исследования и осуществлено крупномасштабное промышленное внедрение технологий наплавки токами высокой частоты (ТВЧ) деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин [6-7]. В настоящее время развитие технологий наплавки ТВЧ сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь в значительной степени связано с успехами теории и технологии синтеза доступных ДЛ наплавочных порошковых сплавов (научная школа чл. корр. НАН Беларуси Ф.И. Пантелеенко) [1]. Были разработаны дешевые ДЛ сплавы из чугуновой стружки для наплавки различных быстроизнашиваемых деталей. Рациональные схемы легирования и оптимизация термической обработки позволили достичь высокой абразивной износостойкости наплавки и привлекательных экономических параметров упрочнения лемехов и долотьев отечественного производства [8]. Ранее достигнутые результаты позволили поставить комплексную задачу – повышения ресурса всего почвообрабатывающего агрегата. Действительно, существенное повышение износостойкости наиболее быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающего агрегата выдвинуло на первый план задачу повышения долговечности деталей, ранее не привлекавших внимания. Речь идет о крепежных болтах плужных долотьев и лемехов, а также полевых досках и отвальных поверхностях. Многолетний опыт выполненных работ подтверждает идею о том, что для повышения ресурса всего узла почвообрабатывающего агрегата необходимо обеспечивать комплексное упрочнение всех изнашиваемых деталей в соответствии и условиями их работы [9].

В статье описаны результаты разработки комплексной технологии повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с помощью поверхностного и объемного упрочнения.

На первом этапе было исследовано упрочнение плужного лемеха наплавкой ТВЧ. Известно, что интенсивное абразивное изнашивание в почве обуславливает быстрое затупление лезвия лемеха и потерю работоспособности [10]. Основными критериями работоспособности лемехов, во многом определяющими их ресурс, являются абразивная износостойкость лезвия и толщина лезвия при эксплуатации. В настоящее время лишь некоторые европейские производители выпускают наплавленные почворезущие детали, предназначенные для обработки особо твердых почв. Чаще всего используется наплавка белых износостойких чугунов, но следует отметить повышенную хрупкость указанных наплавки в условиях интенсивных ударных нагрузок. Многолетний опыт свидетельствует, что свойства ряда традиционных наплавочных сплавов на железной основе (ФБХ-6-2, ПС-5, ПГ С27 и др.) близки, а стоимость может отличаться значительно. Для условий РБ упрочнение лемехов наплавкой ТВЧ износостойкими сплавами является одним из эффективных способов повышения их работоспособности. Диффузионное насыщение чугунной стружки и дроби приводит к образованию после наплавки гетерогенных дисперсных структур эвтектического типа, отличающихся высокими механическими и трибологическими свойствами, а абразивная износостойкость таких сплавов не уступает износостойкости сплавов типа «Сормайт». Для достижения высоких эксплуатационных свойств лемехов, как правило, проводится окончательная термическая обработка после наплавки ТВЧ. Термическая обработка по оптимизированным режимам в ряде случаев позволяет обеспечивать самозатачиваемость лезвия в заданных агроклиматических условиях [8].

При использовании ДЛ сплавов для наплавки ТВЧ были обнаружены некоторые недостатки, которые в дальнейших работах были устранены. Первоначально для ДЛ использовались тупиковые барабанные печи с одним герметизируемым вращающимся контейнером [11]. Указанные печи имели относительно низкую производительность из-за наличия лишь единственного контейнера. В дальнейшем были разработаны и изготовлены для ряда заказчиков барабанные печи проходного типа с поступательным перемещением в процессе обработки нескольких контейнеров через различные зоны печи [10].

Промышленное применение разработанных печей потребовало проведения исследований по изучению стабильности результатов получения ДЛ сплавов при непрерывно-последовательном режиме обработки во вращающихся контейнерах с трех- и четырехконтейнерной загрузкой. Общая температурно-временная схема работы установки с непрерывно-последовательной обработкой контейнеров изображена на рисунке 1, а. На рисунке 1, б показана температурно-временная схема непрерывно-последовательного процесса диффузионного легирования чугунной дроби ДЧЛ 08 в четырех контейнерах при температуре  $950^{\circ}\text{C}$  и темпе толкания – 1 час.

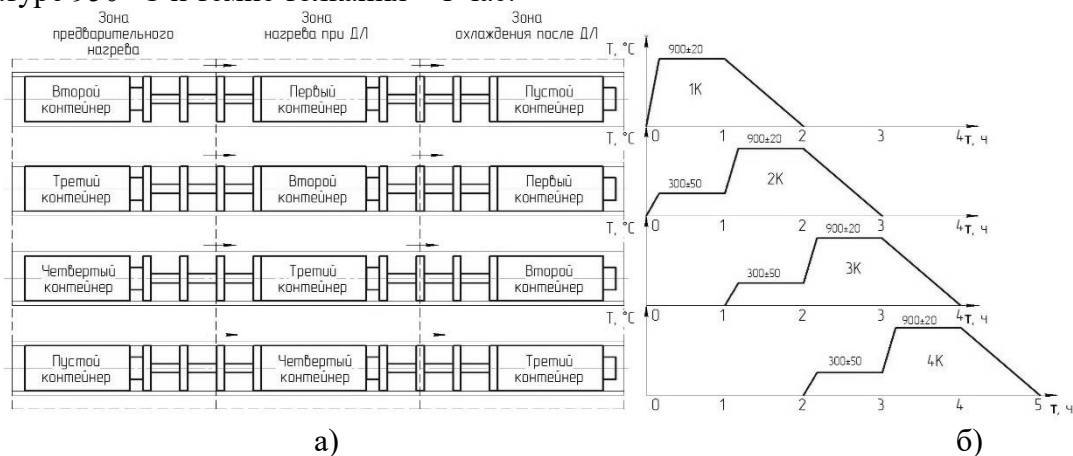


Рисунок 1 – Схема перемещения и температурно-временных параметров циклической обработки четырех контейнеров во вращающейся электрической печи  
а – схема перемещения контейнеров в установке; б – последовательность режимов нагрева контейнеров при ДЛ

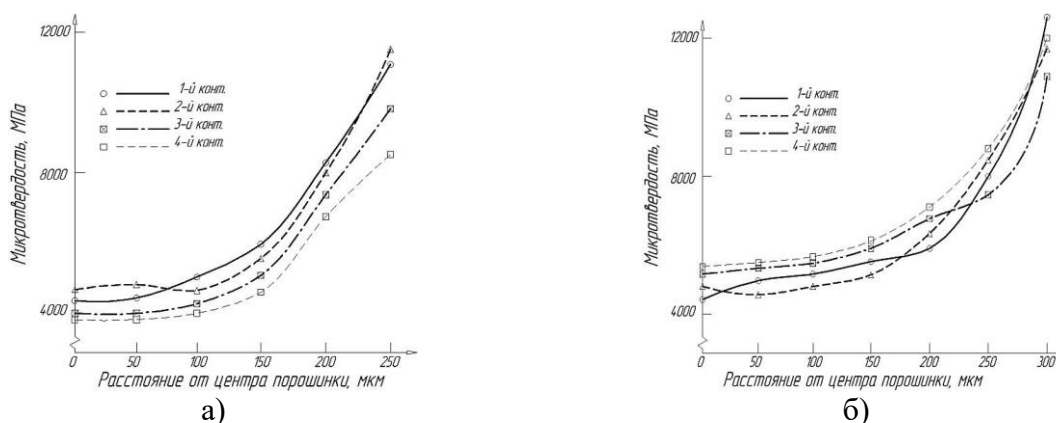


Рисунок 2 – Распределение микротвердости от края к центру в чугунной дробе ДЧЛ 08 после диффузионного легирования в четырех вращающихся контейнерах  
 а) – размером 400...630 мкм; б) – размером более 630 мкм

Изучение проводили при ДЛ отходов чугунной дробе ДЧЛ 08 фракцией 400...630 мкм. Полученные результаты подтвердили достаточную для производственных условий равномерность диффузионного легирования порошка в различных контейнерах для всего требуемого диапазона размеров частиц (рис. 2). Применение многоконтейнерной схемы и дискретно-последовательного режима обработки позволило существенно повысить производительность диффузионного легирования

Каждая гранулометрически самостоятельная частица ДЛ сплава содержит относительно тугоплавкую боридную оболочку (1389 °С – Fe<sub>2</sub>B и 1540 °С – FeB) и металлическое ядро (рис.3 а). Это создает определенные трудности при наплавке ТВЧ. В ранее выполненных исследованиях было установлено предпочтительное наличие в боридной оболочке низкобористой фазы Fe<sub>2</sub>B [1]. Однако даже такой ДЛ сплава требовал специальных приемов для получения качественной наплавки ТВЧ. Качественное расплавление ДЛ сплава происходило после нескольких циклов кратковременного нагрева с обязательным наличием флюса [8]. Теоретический анализ и экспериментальные работы позволили предложить технологический подход по снижению температуры плавления ДЛ сплава для наплавки ТВЧ. Высокотемпературная обработка при частичном или полном оплавлении ДЛ сплава в плазме электрической дуги позволяет получить эвтектическую легкоплавкую оболочку или полностью эвтектическую структуру всей частицы (рис. 3, б) [12-13].

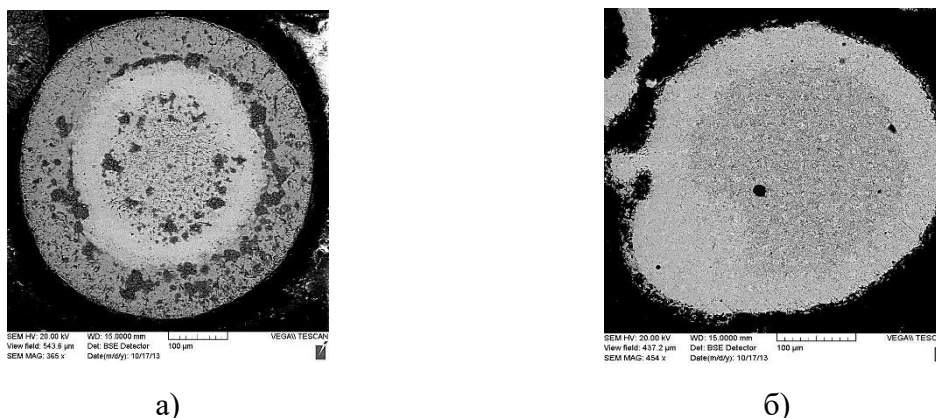


Рисунок 3 – Микроструктура диффузионно-легированного сплава на основе чугунной дробе ИЧХ28Н2  
 а) – после ДЛ бором; б) – ДЛ бором и дополнительная обработка концентрированными источниками энергии

Технико-экономическая целесообразность проведения процесса предварительной кратковременной высокотемпературной обработки концентрированными источниками энергии ДЛ сплавов перед наплавкой ТВЧ подтверждена расчетами [10, 12]. Суммарное значение затраченной энергии при получении защитного покрытия из 1 кг ДЛ сплава на основе дроби ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 без предварительного оплавления составляет 16,67 кВт, а с предварительным оплавлением 15,46...15,92 кВт, что на 4,5...7,2% ниже. Таким образом, энергозатраты использованные для предварительного оплавления ДЛ сплава снижают общие энергозатраты при получении защитного покрытия наплавкой ТВЧ. Твердость наплавленного слоя до 58 HRCэ, толщина наплавленного слоя до 2,5 мм. Полевые испытания на Белорусской МИС свидетельствуют, что детали с упрочнением наплавкой ТВЧ, изнашиваются в 1,2...3,0 раза менее интенсивно, чем детали, изготовленные по традиционной технологии.

На втором этапе исследовали упрочнение плужных оборотных долотьев. Отечественные детали корпусов плугов имеют ресурс наработки в 1,5...2,0 раза меньше западных аналогов. В отечественном производстве используют недорогие низколегированные конструкционные стали 65Г, 40Х и др. Термическая обработка такой стали предполагает индукционный нагрев с последующим спреерным охлаждением и самоотпуском. Значения твердости поверхности – 60...65 HRC, а сердцевины – 40...45 HRC, что может обеспечить надежность и долговечность готового изделия в определенных условиях пахоты. Упрочнение заключается в локальной нитроцементации режущей части с последующей циклической термической обработкой. Полученная дисперсная структура мартенсита отпуска на режущей части позволила добиться улучшения механических свойств стали. Благодаря циклической термической обработке, комплексному упрочнению поверхности стали (нитроцементация) и сердцевины (сквозная закалка) с макронеоднородным распределением микроструктур, рабочая часть детали имеет твердость до 66 HRC на поверхности, а в сердцевине до 55 HRC и ударную вязкость  $35 \pm 3$  Дж/см<sup>2</sup>. Средняя часть долота имеет твердость до 45 HRC и ударную вязкость до  $60 \pm 3$  Дж/см<sup>2</sup>. Полевые испытания опытной партии упрочненных долот на Белорусской машиноиспытательной станции подтвердили повышение долговечности упрочненных долот по сравнению с серийно выпускаемыми в 1,4...1,7 раза. Ресурс упрочненных долот находится на уровне продукции фирмы «Kverneland» (22...25 га) [10].

На третьем этапе исследовали упрочнение крепежных болтов. Для крепежных элементов из стали 40Х, прошедших предварительную термическую обработку, была рассмотрена возможность использования локальной закалки с последующим низким отпуском для снятия термических напряжений. Технологическая операция заключалась в быстром индукционном нагреве до 850 °С и охлаждении в масле и дополнительном низком отпуске при 180 °С в течение 2-х часов. Эта технологическая операция проводилась для получения максимально возможной глубины упрочненного слоя с высоким значением твердости по сечению головки болта. При обработке требовалось учитывать, что максимальная глубина закаленного слоя с мартенситной структурой не должна располагаться на границе между головкой и резьбовой частью болта, т. е. в самом нагруженном месте. Это является нежелательным явлением, снижающим прочность. Глубина упрочненного слоя регламентируется, исходя из того, что крепежный болт должен работать с закрепляемой деталью согласованно и до предельного износа детали. Таким образом, требуется добиться равномерного изнашивания с закрепляемой деталью за счет твердости, сопоставимой с основной деталью.

Для получения требуемой глубины упрочненного слоя были подобраны оптимальные параметры индукционного нагрева. Частота генератора влияет на глубину проникновения тока в металл, чем она выше, тем ниже глубина, а мощность установки определяет глубину зоны термического влияния, возникающей из-за теплоотвода с поверхности детали. Таким образом, необходим высокочастотный генератор с большой мощностью, который обеспечивает упрочненный слой в 5...8 мм. Выбранные параметры установки позволили получить требуемое распределение твердости по сечению головки и ножке болта (рис. 4).

Испытания крепежных элементов позволили установить, что изготовление износостойкого крепежа с высокими показателями прочности и пластичности резьбовой части в сочетании с требуемыми трибологическими свойствами технически возможно [14-15].

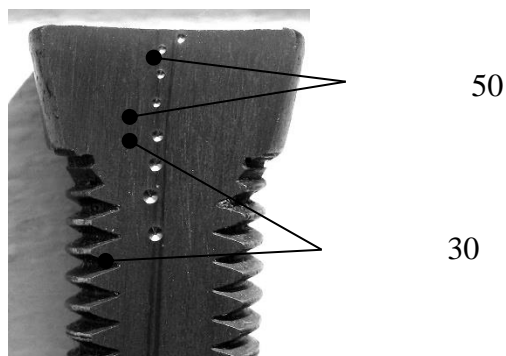


Рисунок 4 – Распределение твердости по сечению крепежного элемента после локальной закалки с отпуском

На производственной базе Минского завода шестерен в рамках выполнения ряда заданий Государственных научно-технических программ был освоен комплекс технологий повышения долговечности быстро-изнашиваемых деталей корпусов плугов отечественного производства (рис. 5). Выполненные работы обеспечили повышение долговечности деталей и ресурса корпуса плуга и позволили снизить удельные затраты при использовании более долговечных корпусов и повысить конкурентоспособность продукции [10].

В течение более 10 лет были проведены многочисленные полевые испытания упрочненных лемехов в различных почвенно-климатических условиях (Белорусская машиноиспытательная станция, Северо-западная машиноиспытательная станция Российской Федерации, различные сельхозпредприятия Беларуси). Во всех случаях упрочнение обеспечивало повышение долговечности лемеха. Наибольший эффект зафиксирован на тяжелых суглинистых и супесчаных почвах – до 2,5 раз. Технико-экономические оценки показывают, что применение упрочненных лемехов позволяет снизить суммарные затраты на обработку 1 га земли на 0,6...2,9 €.



Рисунок 5 – Корпус плуга Минского завода шестерен с упрочненными быстроизнашиваемыми деталями

## Выводы

Таким образом, создан, теоретически обоснован и практически реализован в промышленности концептуальный подход, позволяющий повысить долговечность корпуса плуга за счет комплексного упрочнения всех быстроизнашиваемых деталей узла (индукционная наплавка, ХТО, ТО). Усовершенствована технология получения диффузионно-легированных сплавов для наплавки ТВЧ из металлических отходов производства. Данная технология позволяет формировать износостойкие наплавки толщиной 1,5...2,0 мм с минимальной (1...1,5 %) пористостью и твердостью 850...950 HV. Широкомасштабная промышленная реализация разработанных и апробированных научно-технических решений позволит расширить конкурентные возможности белорусских почвообрабатывающих агрегатов и обеспечить более широкое импортозамещение.

## Список литературы

1. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф.И. Пантелеенко. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.
2. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.
3. Константинов, В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий : дис. докт. техн. наук : 05.02.01 / В.М. Константинов. – Минск, 2008. – 474 л.
4. Пантелеенко, Ф.И. Теоретические и технологические основы получения самофлюсующихся порошков на железной основе диффузионным легированием и разработка износостойких композиционных покрытий из них: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.01 / Ф.И. Пантелеенко. – Минск, 1992 – 32 с.
5. Современные перспективные материалы / Под редакцией В.В. Клубовича – Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2011. – 562 с.
6. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995. – 335 с.
7. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов: Обзорн. информ. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1992. – 36 с.
8. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Жабуренок С.Н. Повышение износостойкости при упрочнении плужных лемехов диффузионно-легированной чугушной стружкой // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 5. – С. 17–20.
9. Константинов В.М. Комплексное повышение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга // Упрочняющие технологии и покрытия – 2014, №12. С.3-7.
10. Перспективные материалы и технологии : монография. В 2-х т. Т. 2 / А.В. Алифанов [и др.] ; под ред. В.В. Клубовича. – Витебск: УО «ВГТУ», 2017. – 509 с.
11. Константинов, В.М. Пантелеенко Ф.И., Штемпель О.П. Синтез наплавочных порошков диффузионным легированием // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – №5. – С. 15-18.
12. Щербаков В.Г. Диффузионно-легированные сплавы из металлических отходов производства с пониженной температурой плавления для формирования износостойких покрытий индукционной наплавкой токами высокой частоты / В.Г.Щербаков //Литье и металлургия. – 2016. № 4(85). – С. 89-96
13. Щербаков В.Г. Эффект контактного эвтектического плавления в диффузионно-легированных сплавах из металлических отходов производства при кратковременной высокотемпературной обработке концентрированными источниками энергии / В.Г.Щербаков // Металлургия: Республ. Межведом. сб. науч.тр. / БНТУ. – Минск, 2016. – Вып. 37. – С. 108-117.

14. Константинов В.М., Ткаченко Г.А. Упрочнение быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающих плугов нитроцементацией с локальным циклическим индукционным нагревом // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – №2. – С. 44 – 50.

15. Ткаченко Г.А. Особенности термической обработки железоуглеродистых сплавов в условиях циклического нагрева / Г.А.Ткаченко // Металлургия: Республ. Межведом. сб. науч.тр. / БНТУ. – Минск, 2016. – Вып. 37. – С. 155-164.

### **COMPREHENSIVE INCREASE OF DURABILITY OF WORKING BODIES OF SOIL PROCESSING MACHINES WITH SURFACE AND VOLUME SURFACE**

*Constantinov V.M. D.Sc. (Engineering), Professor,  
Tkachenko G.A. Ph.D. (Engineering), Associate Professor,  
Shcherbakou V.G. senior lecturer*

**Constantinov V.M., Tkachenko G.A., Shcherbakou V.G.**

Belarusian national technical university,  
220013, Republic of Belarus, Minsk, Nezavisimosti ave., 65;

#### **Abstract**

The results of the development of the conceptual approach allowing to increase the durability of the plow body due to the complex hardening of all wear parts of the unit (induction surfacing, НТО, ТО) are presented. Industrial implementation of the proposed scientific and technical solutions will expand the competitive capabilities of soil cultivating units and ensure a broader import substitution.

**Keywords:** abrasive wear resistance, surface hardening, chemical-thermal treatment, induction hardfacing, heat treatment.