

# ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

## INCREASE OF DURABILITY OF WORKING BODIES OF TILLAGE MACHINES BY APPLYING METAL-CERAMIC COATINGS

**Н.В. ТИТОВ**, К.Т.Н.

Орловский государственный аграрный университет  
имени Н.В. Парахина, Орел, Россия, ogau@mail.ru

**N.V. TITOV**, PhD in Engineering

Oryol State Agrarian University n.a. Nikolay Parakhin, Oryol,  
Russia, ogau@mail.ru

В настоящее время наиболее перспективными для повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин являются металлокерамические материалы, которые наносятся на режущие поверхности в виде покрытий. Перспективным способом создания металлокерамических покрытий является карбовибродуговое упрочнение (КВДУ). При КВДУ на упрочняемую поверхность наносится многокомпонентная паста, содержащая металлическую матрицу, керамические компоненты и активатор процесса горения дуги (криолит), которая после высыхания расплавляется вибрирующим угольным электродом с образованием металлокерамического покрытия. Целью работы является обоснование целесообразности использования матричного порошка на железной основе в составе многокомпонентных паст для КВДУ с целью улучшения структуры и физико-механических свойств металлокерамических покрытий и повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин. При проведении исследований в качестве матричного материала многокомпонентных паст для КВДУ использовали порошки ПР-Х30СРНДЮ на железной основе и ПР-НХ17СР4 на никелевой основе, в качестве керамических компонентов паст – карбиды бора и кремния. Наибольшую микротвердость (1354 HV) имеют металлокерамические покрытия, полученные на пастах, содержащих матричный порошок ПР-Х30СРНДЮ и карбид бора. Микроструктура полученных покрытий плотная и практически беспористая, а их износ в 3,6 раза меньше, чем износ стали 30ГР, принятой за эталон сравнения. Использование в составе паст матричного порошка ПР-НХ17СР4 приводит к существенному снижению микротвердости металлокерамических покрытий (1033 HV – при использовании карбида бора и 942 HV – карбида кремния), они содержат значительное количество пор различного размера. Полученные данные подтверждают целесообразность использования порошка на железной основе в качестве матричного материала многокомпонентных паст для КВДУ. По результатам проведенных исследований паста должна содержать 60 % порошка ПР-Х30СРНДЮ, 30 % карбида бора и 10 % криолита. Ее использование позволит значительно повысить долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин, упрочненных металлокерамическими покрытиями, полученными при КВДУ.

**Ключевые слова:** рабочий орган, металлокерамическое покрытие, долговечность, карбовибродуговое упрочнение, многокомпонентная паста, почвообрабатывающие машины, матричный порошок.

Currently, the most promising way to increase the durability of the working bodies of tillage machines are metal-ceramic materials that are applied to the cutting surfaces in the form of coatings. A promising way to create metal-ceramic coatings is carbobivar hardening (CVH). When using CVH, a multicomponent paste containing a metal matrix, ceramic components and an activator of the arc burning process (cryolite) is applied onto the hardened surface, which, after drying, is melted by a vibrating carbon electrode to form a metal-ceramic coating. The aim of the work is to substantiate the feasibility of using a matrix powder on an iron basis in the composition of multicomponent pastes for CVH in order to improve the structure and physicomachanical properties of metal-ceramic coatings and increase the durability of the working bodies of tillage machines. When conducting research, iron-based powders and nickel-based powders were used as the matrix material of multicomponent pastes for the CVH, and boron and silicon carbides were used as ceramic components of the pastes. The greatest microhardness (1354 HV) are metal-ceramic coatings obtained on pastes containing matrix powder and boron carbide. The microstructure of the obtained coatings is dense and practically non-porous, and their wear is 3,6 times less than the wear of 30 GR steel adopted as the reference standard. The use of the matrix powder in the paste leads to a significant reduction in the microhardness of metal-ceramic coatings (1033 HV using boron carbide and 942 HV – silicon carbide), they contain a significant number of pores of various sizes. The obtained data confirm the feasibility of using iron-based powder as a matrix material of multicomponent pastes for CVH. According to the results of the research, the paste should contain 60 % of powder, 30 % of boron carbide and 10 % of cryolite. Its use will significantly increase the durability of the working bodies of tillage machines, reinforced with metal-ceramic coatings obtained at CVH.

**Keywords:** working body, cermet coating, durability, carbide-arc hardening, multi-component paste, soil tillage machines, matrix powder.

## Введение

Одной из актуальных проблем современного сельскохозяйственного машиностроения является низкий ресурс рабочих органов машин для обработки почвы. Нарботка на отказ лемехов отечественных плугов на различных почвах составляет всего 5...20 га, зарубежных – 25...70 га, стрельчатых лап культиваторов и посевных комплексов – 10...40 га, дисков борон – 8...30 га [1–3]. В результате значительно возрастают затраты на обработку почвы и себестоимость полученной товарной продукции.

Основное направление повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин – применение упрочняющих технологий. Наиболее перспективными для упрочнения являются металлокерамические материалы, которые наносятся на режущие поверхности рабочих органов в виде покрытий [2, 4]. Однако большинство известных технологий нанесения данных покрытий отличают высокая стоимость оборудования, расходных материалов, значительные затраты энергии, а также сложность их реализации в условиях мелкосерийного производства и ремонтных мастерских фермерских хозяйств.

Современным способом упрочнения, в значительной степени лишенным многих из указанных недостатков, и позволяющим существенно повысить долговечность режущих поверхностей рабочих органов, является карбовибродуговое упрочнение (КВДУ) [2, 5–10]. При КВДУ на упрочняемую режущую поверхность наносится многокомпонентная паста, содержащая металлическую матрицу, упрочняющие керамические компоненты и материал, активирующий процесс горения дуги (криолит). Высохшая паста расплавляется с использованием вибрирующего угольного электрода специальной установки. При горении электрической дуги на упрочняемой поверхности из компонентов пасты образуется металлокерамическое покрытие. Одновременно с формированием покрытия идет процесс диффузионного насыщения металла упрочняемого рабочего органа углеродом, выделяющимся при горении угольного электрода [7, 9–11].

В настоящее время исследования теоретических и технологических возможностей способа КВДУ продолжают. Однако пока еще не в полной мере рассмотрены вопросы, связанные с выбором составов многокомпонентных паст для КВДУ и рациональных режимов процесса.

В опубликованных работах по данному направлению в качестве матрицы многокомпонентных паст используют в основном порошки на никелевой основе (чаще всего порошок ПГ-10Н-01) [2, 6, 7, 10–12]. В то же время пока еще не проводились комплексные исследования по использованию в составах паст в качестве матрицы порошков на железной основе, которые имеют большее сродство с материалом упрочняемого рабочего органа. Их использование должно позволить существенно улучшить структуру и физико-механические свойства получаемых при КВДУ металлокерамических покрытий.

## Цель исследования

Обоснование целесообразности использования матричного порошка на железной основе в составе многокомпонентной пасты для КВДУ с целью повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин.

## Материалы и методы проведения исследований

При проведении исследований в качестве матричного материала многокомпонентных паст для КВДУ использовали порошок ПР-Х30СРНДЮ на железной основе и порошок ПР-НХ17СР4 на никелевой основе, производимые ОАО «Полема» (г. Тула). Выбор указанных порошков в качестве матричных обусловлен тем, что их широко используют для различных видов износостойкой наплавки деталей сельскохозяйственной, дорожной и автомобильной техники, шнеков экструдеров и другого технологического оборудования. В качестве керамических компонентов паст использовали карбид бора  $B_4C$  (ГОСТ 5744-85) и карбид кремния  $SiC$  (ГОСТ 26327-84). Содержание криолита в составе всех паст принимали равным 10 % [7, 10–12]. Связующим веществом являлся 50%-й водный раствор клея ПВА. После приготовления пасту наносили на металлическую подложку из стали 30ГР слоем толщиной 2,0...2,2 мм и высушивали до затвердевания. КВДУ осуществляли с использованием установки ВДГУ-2 на следующих режимах: сила тока – 70 А, частота и амплитуда вибрации угольного электрода – 10 Гц и 1,1 мм, соответственно.

Поперечные шлифы образцов для проведения экспериментальных исследований изготавливали с учетом рекомендаций, изложенных в работах [9, 13]. Микротвердость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ,

определяли с помощью компьютеризированного микротвердомера ПМТ-3М-01 по методу Виккерса. Нагрузка на индентор составляла 1 Н, время выдержки – 15 с. Измерение полученных отпечатков производили с помощью видеоустройства, подключенного к персональному компьютеру. Исследование микроструктуры металлокерамических покрытий проводили с использованием металлургического микроскопа OLYMPUS GX51. Лабораторные испытания на изнашивание осуществляли по методу «гильзы» на вертикально-сверлильном станке. Образцы при этом устанавливали в специальное устройство, которое закреплялось в шпинделе станка и вращалось в абразивном материале, находящемся в емкости, установленной на станине станка [10, 14]. Абразивным материалом служил кварцевый песок размером 0,16...0,32 мм. В качестве эталонных служили образцы, изготовленные из стали 30ГР. Величину износа определяли по уменьшению массы образцов. Длительность испытаний составляла 10 ч.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные исследования позволили установить, что более высокую микротвердость имеют металлокерамические покрытия, сформированные с использованием многокомпонентных паст, в состав которых входит матричный порошок ПР-Х30СРНДЮ на железной основе (рис. 1). При этом использование в качестве керамического компонента данных паст карбида бора обеспечивает наибольшие средние значения микротвердости покрытий (1354 HV при содержании карбида бора 30 %). При использовании в составе паст матричного порошка ПР-НХ17СР4 на никелевой основе микротвердость металлокерамических покрытий существенно снижается. В среднем она составляет 1033 HV при содержании в пасте 30 % карбида бора и 942 HV – при содержании в пасте 30 % карбида кремния (рис. 1).

Исследованиями многих ученых установлено, что на границе с основным металлом микротвердость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ, имеет более низкие значения, чем на поверхности [2, 5, 6, 8, 9]. Проведенные в данной работе исследования подтвердили ранее полученные результаты. При этом микротвердость металлокерамических покрытий, полученных на пастах, содер-

жащих матричный порошок ПР-Х30СРНДЮ на железной основе и карбид бора, вновь оказалась наиболее высокой. Так, при использовании данных компонентов в составе паст среднее значение микротвердости покрытий составляет 1062 HV при содержании карбида бора 30 % (рис. 2). При использовании в составе пасты матричного порошка ПР-НХ17СР4 на никелевой основе микротвердость полученных покрытий вновь является более низкой. В среднем она составляет 815 HV при содержании в пасте 30 % карбида бора и 763 HV – при содержании в пасте 30 % карбида кремния.

Проведенные микроструктурные исследования показали, что структура и плотность металлокерамических покрытий, полученных с использованием различных по составу многокомпонентных паст, существенно отличаются между собой. Так, при использовании в составе паст матричного порошка ПР-Х30СРНДЮ на железной основе структура металлокерамического покрытия плотная и практически беспористая (рис. 3, а). При использовании матрично-

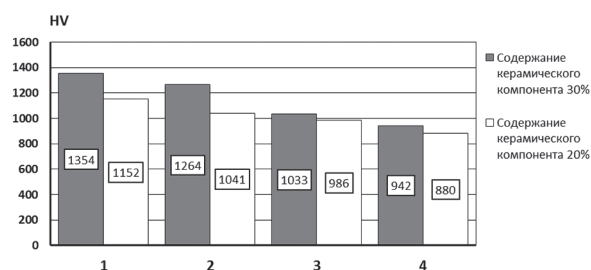


Рис. 1. Изменение микротвердости HV на поверхности металлокерамического покрытия, полученного при КВДУ. Используемые пасты: ПР-Х30СРНДЮ (матрица), карбид бора (1); ПР-Х30СРНДЮ (матрица), карбид кремния (2); ПР-НХ17СР4 (матрица), карбид бора (3); ПР-НХ17СР4 (матрица), карбид кремния (4)

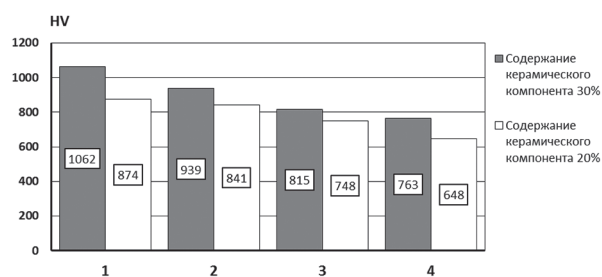


Рис. 2. Изменение микротвердости HV металлокерамического покрытия, полученного при КВДУ, на границе с основным металлом. Используемые пасты: ПР-Х30СРНДЮ (матрица), карбид бора (1); ПР-Х30СРНДЮ (матрица), карбид кремния (2); ПР-НХ17СР4 (матрица), карбид бора (3); ПР-НХ17СР4 (матрица), карбид кремния (4)

го порошка ПР-НХ17СР4 на никелевой основе структура покрытия менее плотная и содержит значительное количество пор различного размера (рис. 3, б). Полученные результаты позволяют объяснить, почему покрытия, полученные с использованием паст, матрицей которых является порошок ПР-Х30СРНДЮ, имеют наибольшие средние значения микротвердости как на поверхности покрытия, так и на границе раздела с основным металлом.

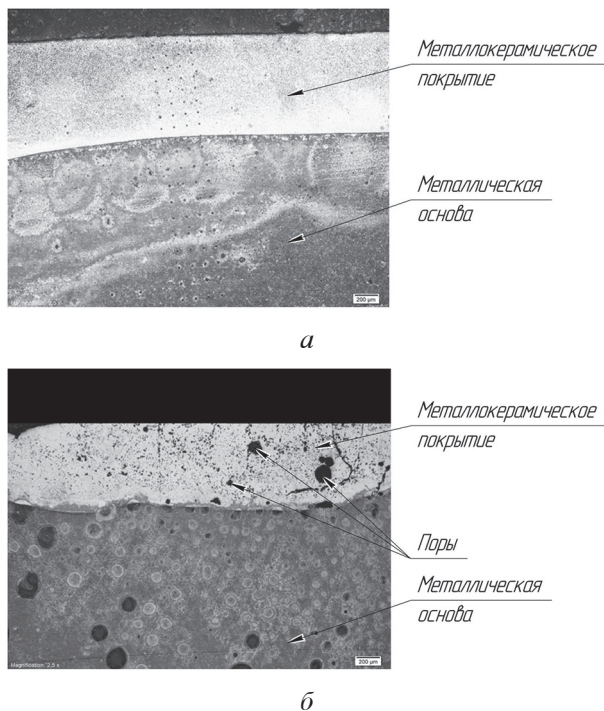


Рис. 3. Микроструктура металлокерамических покрытий, полученных с использованием паст, матрицей которых являются порошки ПР-Х30СРНДЮ (а) и ПР-НХ17СР4 (б)

Проведенные лабораторные испытания на изнашивание упрочненных КВДУ и неупрочненных эталонных образцов из стали 30ГР показали, что наибольший средний износ (0,51 г) имеют эталонные образцы (рис. 4).

Образцы, упрочненные КВДУ, имеют значительно меньшие износы. При этом минимальный износ (0,14 г) обеспечивают металлокерамические покрытия, полученные с использованием многокомпонентной пасты, содержащей 60 % матричного порошка ПР-Х30СРНДЮ на железной основе и 30 % карбида бора в качестве упрочняющего компонента. Износ металлокерамического покрытия, полученного с использованием пасты вышеуказанного состава, в 3,6 раза меньше, чем износ эталонных образцов.

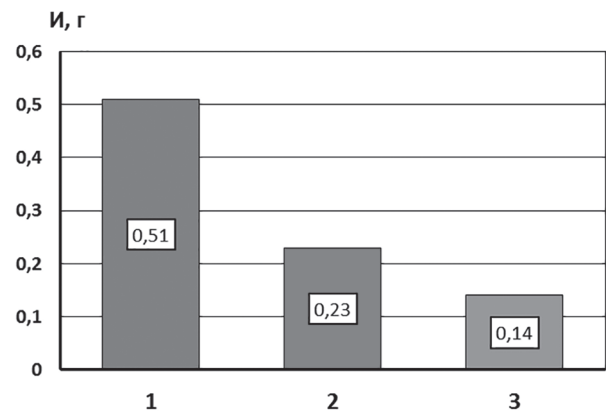


Рис. 4. Износ эталонных образцов (1) и образцов, упрочненных КВДУ. Используемые пасты: ПР-НХ17СР4 (матрица), 30 % карбида бора (2); ПР-Х30СРНДЮ (матрица), 30 % карбида бора (3)

## Выводы

Таким образом, по результатам комплекса проведенных исследований доказана целесообразность использования порошка ПР-Х30СРНДЮ на железной основе в качестве матрицы многокомпонентных паст, применяемых при КВДУ рабочих органов почвообрабатывающих машин, которые эксплуатируются в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Также определен рациональный состав многокомпонентной пасты для КВДУ: порошок ПР-Х30СРНДЮ – 60 %, карбид бора – 30 %, криолит – 10 %. Использование многокомпонентной пасты указанного состава при КВДУ рабочих органов почвообрабатывающих машин позволит значительно повысить их долговечность в эксплуатации. Это, в свою очередь, поможет снизить потребности производителей сельскохозяйственной продукции в приобретении оригинальных дорогостоящих запасных частей как отечественного, так и зарубежного производства.

## Литература

1. Михальченко А.М., Будко С.И. Стойкость к абразивному изнашиванию восстановленных и упрочненных лемешных долот Lemken // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 8. С. 45–48.
2. Лялякин В.П., Соловьев С.А., Аулов В.Ф. Состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 96–104.
3. Михальченко А.М., Козарез И.В., Михальченкова М.А. Износ цельнометаллических и составных лемехов // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 7. С. 39–43.

4. Лялякин В.П., Голубев И.Г. Перспективы восстановления деталей сельскохозяйственной техники // *Техника и оборудование для села*. 2016. № 4. С. 41–43.
5. Муртазин Г.Р., Зиганшин Б.Г., Яхин С.М. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин // *Техника и оборудование для села*. 2015. № 10. С. 32–34.
6. Титов Н.В., Литовченко Н.Н., Коротков В.Н. Метод вибродуговой наплавки металлокерамики деталей техники, работающей в условиях абразивного износа // *Труды ГОСНИТИ*. 2013. Т. 111. Ч. 2. С. 219–222.
7. Титов Н.В. Повышение износостойкости рабочих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин карбовибродуговым упрочнением // *Техника и оборудование для села*. 2015. № 11. С. 38–41.
8. Литовченко Н.Н., Куликов В.Н., Титов Н.В. Вибродуговая наплавка графитовым электродом нанометаллокерамических композиционных материалов // *Сварочное производство*. 2013. № 2. С. 51–53.
9. Лялякин В.П., Титов Н.В., Литовченко Н.Н., Ничипоренко Р.С. Карбовибродуговой метод упрочнения деталей машин, работающих в условиях абразивного износа, наплавкой металлокерамики (КВДНМК) // *Труды ГОСНИТИ*. 2014. Т. 114. С. 144–149.
10. Титов Н.В. Повышение долговечности рабочих органов плугов карбовибродуговым упрочнением их режущих поверхностей // *Труды ГОСНИТИ*. 2016. Т. 125. С. 256–261.
11. Титов Н.В., Хамзин А.В., Слободчиков Д.А. Перспективная технология восстановления и упрочнения лемехов плугов // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. № 3 (18). С. 218–222.
12. Титов Н.В., Виноградов В.В., Слободчиков Д.А. Импортзамещающая технология упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. № 1 (16). С. 138–141.
13. Бажин П.М., Столин А.М., Титов Н.В. Композиционные защитные покрытия на основе TiC-W<sub>2</sub>C-Co, полученные электродуговой наплавкой СВС-электродами на деталях сельскохозяйственной техники // *Композиты и наноструктуры*. 2016. Т. 8. № 1. С. 58–65.
14. Михальченков А.М., Денисов В.А., Новиков А.А. Оборудование и методика проведения ускоренных сравнительных испытаний на износостойкость сталей, эксплуатируемых в почвенной среде // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. № 5. С. 46–48.
2. Lyalyakin V.P., Solov'ev S.A., Aulov V.F. Condition and prospects of strengthening and restoration of details of tillage machines by welding and surfacing methods. *Trudy GOSNITI*. 2014. Vol. 115, pp. 96–104 (in Russ.).
3. Mihal'chenkov A.M., Kozarez I.V., Mihal'chenkova M.A. Worn all-metal and composite plowshares. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2014. No 7, pp. 39–43 (in Russ.).
4. Lyalyakin V.P., Golubev I.G. Prospects for the restoration of parts of agricultural machinery. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2016. No 4, pp. 41–43 (in Russ.).
5. Murtazin G.R., Ziganshin B.G., YAhin S.M. Increasing the resource of working bodies of tillage machines. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2015. No 10, pp. 32–34 (in Russ.).
6. Titov N.V., Litovchenko N.N., Korotkov V.N. Method of vibration-arc surfacing of metal ceramics of parts of equipment operating under abrasive wear. *Trudy GOSNITI*. 2013. Vol. 111. CH. 2, pp. 219–222 (in Russ.).
7. Titov N.V. Increasing the wear resistance of the working surfaces of the lamella paws of soil-processing machines by carbobibus hardening. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2015. No 11, pp. 38–41 (in Russ.).
8. Litovchenko N.N., Kulikov V.N., Titov N.V. Vibro-arc surfacing by graphite electrode of nanometal-ceramic composite materials. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2013. No 2, pp. 51–53 (in Russ.).
9. Lyalyakin V.P., Titov N.V., Litovchenko N.N., Nichiporenko R.S. Carbofiber-arc method of hardening machine parts working under abrasive wear by metal-ceramic surfacing. *Trudy GOSNITI*. 2014. Vol. 114, pp. 144–149 (in Russ.).
10. Titov N.V. Increasing the durability of the working bodies of the plows by carbovibar hardening of their cutting surfaces. *Trudy GOSNITI*. 2016. Vol. 125, pp. 256–261 (in Russ.).
11. Titov N.V., Hamzin A.V., Slobodchikov D.A. Perspective technology of restoration and hardening of plowshares. *Innovacii v sel'skom hozyajstve*. 2016. No 3 (18), pp. 218–222 (in Russ.).
12. Titov N.V., Vinogradov V.V., Slobodchikov D.A. Import-substituting technology hardening lancet paws tillage machines. *Innovacii v sel'skom hozyajstve*. 2016. No 1 (16), pp. 138–141 (in Russ.).
13. Bazhin P.M., Stolin A.M., Titov N.V. Composite protective coatings based on TiC-W<sub>2</sub>C-Co, obtained by electric arc surfacing with SHS-electrodes on the details of agricultural machinery. *Kompozity i nanostrukturny*. 2016. Vol. 8. No 1, pp. 58–65 (in Russ.).
14. Mihal'chenkov A.M., Denisov V.A., Novikov A.A. Equipment and methods for conducting accelerated comparative tests on the wear resistance of steels used in the soil environment. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2016. No 5, pp. 46–48. (in Russ.).

## References

1. Mihal'chenkov A.M., Budko S.I. Resistance to abrasive wear of remanufactured and hardened Lemken chisels. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2012. No 8, pp. 45–48 (in Russ.).