УДК 621.664:669.715

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-121-125

А.В. Коломейченко, Н.В. Титов, О.О. Багринцев

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПАСТ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ КАРБОВИБРОДУГОВОМ УПРОЧНЕНИИ

Ключевые слова: карбовибродуговое упрочнение; металлокерамическое покрытие; многокомпонентная паста; рабочий орган; микротвердость; износостойкость; матричный материал; керамические компоненты.

Введение. На сегодняшний день важной народнохозяйственной проблемой является интенсивный износ и выход из строя различных рабочих органов отечественных и зарубежных почвообрабатывающих машин, что существенным образом сказывается на снижении производительности и качества выполняемых полевых работ и увеличении себестоимости выпускаемой продукции [1–5]. Одним из путей повышения износостойкости и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин является применение упрочняющих технологий. В настоящее время перспективным способом упрочнения, позволяющим значительно повысить физико-механические свойства рабочих органов машин, является их карбовибродуговое упрочнение (КВДУ) с использованием многокомпонентных паст [6–12]. При КВДУ вначале приготавливается многокомпонентная паста, которая затем наносится на режущую поверхность рабочего органа слоем толщиной 2,0...2,3 мм. После высыхания паста расплавляется угольным электродом, совершающим возвратно-поступательные движения (вибрирующим) в вертикальной плоскости. На упрочняемой поверхности при горении электрической дуги из компонентов пасты формируется композитное металлокерамическое покрытие. Вибрация угольного электрода способствует снижению тепловложения в упрочняемый рабочий орган. Многокомпонентные пасты, используемые для КВДУ, включают в свой состав стальную матрицу, оксиды алюминия Al_2O_3 , кремния SiO_2 , карбиды бора B_4C или вольфрама WC , а также нитрат аммония NH_4NO_3 и активатор процесса (чаще всего криолит Na_3AlF_6) [7, 8, 10, 12]. Предварительно проведенными исследованиями было установлено, что каждый из компонентов пасты значительно влияет на физико-механические свойства (в первую очередь, твердость и износостойкость) формируемых при КВДУ металлокерамических покрытий. Однако до настоящего времени комплексные исследования в данном направлении пока еще не проводились.

Цель исследований – изучение влияния состава и концентрации компонентов многокомпонентной пасты на твердость и износостойкость металлокерамических покрытий, формируемых при КВДУ.

Условия, материалы и методы исследования. Для проведения исследований путем механического смешения компонентов было приготовлено несколько паст. Паста № 1 содержала 70 % порошка ПГ-С27 на железной основе (матрица), 15 % WC , 10 % Al_2O_3 , криолит – остальное. Паста № 2 – 70 % порошка ПГ-С27, 10 % WC , 15 % Al_2O_3 , криолит – остальное. Паста № 3 – 60 % порошка ПГ-С27, 15 % WC , 10 % Al_2O_3 , 10 % NH_4NO_3 , криолит – остальное. Паста № 4 – 60 % порошка ПГ-С27, 10 % WC , 15 % Al_2O_3 , 10 % NH_4NO_3 , криолит – остальное. В качестве связующего вещества для всех паст использовался водный раствор клея ПВА.

После приготовления пасты наносились на поверхности образцов, изготовленных из стали 30ГР, и высушивались до затвердевания. Толщина нанесенного слоя пасты составляла 2,0...2,3 мм. КВДУ производили на установке ВДГУ-2, производимой ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, в следующих режимах: сила тока $I = 60...65$ А, частота и амплитуда вибрации угольного электрода – 25 Гц и 1,1 мм соответственно.

Микротвердость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ, определяли на микротвердомере ПМТ-3М-01 с помощью четырехгранной пирамидки, при этом значение нагрузки составляло 1 Н, а выдержка при приложении нагрузки – 15 с [8, 13]. Для измерения отпечатков твердости использовалось видеоустройство микротвердомера. Требуемый уровень точности обеспечивался проведением не менее 24 замеров полученных отпечатков. Значения микротвердости покрытий в единицы твердости по Роквеллу переводили с помощью соответствующих таблиц.

При проведении испытаний на изнашивание использовали специальное устройство в виде цилиндра с равномерно расположенными по его

окружности пазами, предназначенными для закрепления исследуемых образцов [8]. Устройство подобной конструкции используют многие ученые, занимающиеся вопросами испытания материалов на абразивное изнашивание [14, 15]. Наряду с образцами, имеющими на поверхности металлокерамические покрытия, сформированные при КВДУ на пастах различного состава, в устройство устанавливали образцы из стали 65Г (эталон). Устройство с помощью державки закреплялось в шпинделе станка модели 2Н135 и вращалось в абразивном материале (кварцевом песке), который в контейнере был закреплен на столе станка. Износ определялся по потере массы образцов. Продолжительность испытаний принималась равной 10 ч.

Результаты исследования. Результаты проведенных исследований по определению твердости металлокерамических покрытий при КВДУ на пастах различного состава, показаны на рисунке 1. Было установлено, что наибольшую твердость (74 HRC) имеют металлокерамические покрытия, полученные с использованием

пасты № 1. Основную роль в получении покрытий с наибольшей твердостью играет процентное содержание матричного порошка в составе многокомпонентной пасты для КВДУ, а также содержание в пасте карбида вольфрама WC. Проведенными исследованиями также было установлено, что добавление в состав пасты нитрата аммония NH_4NO_3 не приводит к значительному увеличению твердости формируемых при КВДУ металлокерамических покрытий (рисунок 1).

По результатам испытаний на изнашивание металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ на пастах различного состава, и образцов-эталонных было выявлено, что последние имеют самый значительный износ – 0,53 г (таблица 1). Покрытия, полученные при КВДУ, изнашиваются гораздо медленнее. Образцы с покрытиями, полученными при КВДУ с использованием пасты № 1, содержащей 70 % матричного порошка и 15 % карбида вольфрама WC в качестве упрочняющего компонента, имеют наименьший износ – 0,20 г за 10 ч испытаний (таблица 1).

Рисунок 1

Средние значения твердости металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ на пастах №№ 1–4

Таблица 1 Износ эталонных образцов и образцов, имеющих металлокерамические покрытия, полученные при КВДУ

Образцы	Износ, г
Эталонные	0,53
Упрочненные КВДУ, паста № 1	0,20
Упрочненные КВДУ, паста № 2	0,25
Упрочненные КВДУ, паста № 3	0,31
Упрочненные КВДУ, паста № 4	0,29

Таким образом, наибольшую износостойкость имеют металлокерамические покрытия, полученные при КВДУ с использованием пасты №1. Их относительная износостойкость оказалась в 2,6 раза выше, чем у стали 65Г, которая использовалась в качестве эталона при проведении сравнительных испытаний на изнашивание (рисунок 2).

Выводы. Проведенными исследованиями было установлено, что на получение металлокерамических покрытий с наибольшей твердостью (74 HRC) основное влияние оказывает процентное содержание в составе многокомпонентной пасты для КВДУ матричного порошка и карбида вольфрама WC. Наибольшую твердость и износостойкость металлокерамических покрытий,

получаемых при КВДУ, позволяет обеспечить многокомпонентная паста, содержащая в своем составе 70 % матричного порошка ПГ-С27 на

железной основе, 15 % карбида вольфрама WC, 10 % оксида алюминия Al_2O_3 , криолит – остальное.

Рисунок 2
Относительная износостойкость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ на пастах №№ 1–4, 5 – образец-эталон из стали 65Г

Использование пасты указанного состава позволит в среднем в 2,6 раза увеличить относительную износостойкость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ, в сравнении с

эталонными образцами из стали 65Г. Применение пасты указанного состава обеспечит существенное повышение ресурса упрочненных рабочих органов машин в условиях их эксплуатации.

Библиографический список

1. Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин [Текст] / В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин, И.Г. Голубев. М.: Росинформагротех, 2016. 568 с.
2. Лобачевский, Я.П. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении [Текст] / Я.П. Лобачевский, С.А. Сидоров, Д.А. Миронов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 6. С. 27–31.
3. Михальченко, А.М. Влияние тыльной наплавки малоуглеродистыми электродами на абразивное изнашивание восстановленных долот [Текст] / А.М. Михальченко // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. № 2. С. 187–191.
4. Фаюршин, А.Ф. Совершенствование технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / А.Ф. Фаюршин, Р.Ф. Масыгутов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (47). С. 108–113.
5. Лялякин, В.П. Перспективы восстановления деталей сельскохозяйственной техники [Текст] / В.П. Лялякин, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. 2016. № 4. С. 41–43.
6. Виноградов, В.В. Повышение износостойкости стрельчатых лап почвообрабатывающих орудий карбовибродуговым упрочнением их режущих поверхностей [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук. 05.20.03 / В.В. Виноградов. Воронеж. 2017. 16 с.
7. Муртазин, Г.Р. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.Р. Муртазин, Б.Г. Зиганшин, С.М. Яхин // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 32–34.
8. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Logachev V.N., Kravchenko I.N., Litovchenko N.N. Investigation of the hardness and wear resistance of working sections of machines hardened by vibroarc surfacing using cermet materials. J. Welding International. 2015. Vol. 29. No 9. Pp. 737–739.
9. Kolomeychenko A.V., Titov N.V., Vиноградов V.V., Stolin A.M., Bazin P.M. The microstructure of composite cermet coatings produced by carbo-vibroarc surfacing. J. Welding International. 2017. Vol. 31. No. 9. Pp. 739–742.
10. Шарафиев, А.А. Влияние металлокерамических составов на поверхность упрочняемых рабочих органов [Текст] / А.А. Шарафиев,

М.Н. Адигамова, Н.Р. Адигамов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практич. конф. Института механизации и технического сервиса. Казань: Казанский ГАУ, 2018. С. 239–242.

11. Виноградов, В.В. Исследование зажигания дуги при упрочнении рабочих органов машин карбовибродуговым методом [Текст] / В.В. Виноградов // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 4 (19). С. 323–327.

12. Kolomeichenko A.V., Titov N.V., Kuznetsov Yu.A., Kalashnikova L.V., Bagrintsev O.O., Sharifullin S.N. Investigation of nanometal-keramic composite coatings obtained by vibro-arc surfacing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 012–049.

13. Шарифуллин, С.Н. Упрочнение поверхностей режущих элементов сельскохозяйственных агрегатов вибродуговой плазмой [Текст] / С.Н. Шарифуллин, Р.Ю. Соловьев, К.С. Аракчева, Н.Р. Адигамов, Н.Н. Адигамов // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 145–151.

14. Михальченко, А.М. Методология проведения ускоренных сравнительных испытаний на абразивное изнашивание материалов с различным составом, строением и свойствами [Текст] / А.М. Михальченко, В.П. Лялякин, М.А. Михальченкова // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 116. С. 91–96.

15. Новиков, А.А. Повышение долговечности плужных лемехов их восстановлением термоупрочненными компенсирующими элементами [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук. 05.20.03 / А.А. Новиков. М., 2017. 16 с.

Сведения об авторах

1. **Коломейченко Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, Орел, ул. Генерала Родина, 69, e-mail: kolom_sasha@inbox.ru.

2. **Титов Николай Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, Орел, ул. Генерала Родина, 69, e-mail: ogau@mail.ru.

3. **Багринцев Олег Олегович**, аспирант кафедры надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, Орел, ул. Генерала Родина, 69, e-mail: schmelji20@gmail.com.

В статье рассмотрены особенности карбовибродугового упрочнения (КВДУ) как современного способа формирования композитных металлокерамических покрытий на режущих поверхностях рабочих органов машин. Цель проведенных исследований заключалась в изучении влияния состава многокомпонентной пасты, используемой при КВДУ, на твердость и износостойкость полученных данным способом покрытий. При проведении исследований в качестве матричного материала многокомпонентных паст для КВДУ использовали порошок ПГ-С27 на железной основе, керамическими компонентами паст служили карбид вольфрама WC и оксид алюминия Al_2O_3 . В составах паст также использовали нитрат аммония NH_4NO_3 и криолит Na_3AlF_6 , служащий для улучшения горения электрической дуги при КВДУ. Микротвердость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ, определяли с использованием микротвердомера ПМТ-3М-01. При проведении испытаний на абразивное изнашивание использовали специальное устройство, конструкция которого позволяла одновременно испытывать упрочненные КВДУ с использованием паст различного состава и эталонные образцы. По ре-

зультатам комплекса проведенных исследований было установлено, что на получение металлокерамических покрытий с наибольшей твердостью (74 HRC) основное влияние оказывает содержание в составе многокомпонентной пасты для КВДУ матричного порошка и карбида вольфрама WC. Минимальный износ образцов (0,20 г за 10 ч испытаний) обеспечивают металлокерамические покрытия, полученные с использованием пасты, содержащей 70 % матричного порошка и 15 % карбида вольфрама в качестве упрочняющего компонента. Таким образом, проведенные исследования показали, что рациональной для КВДУ будет являться многокомпонентная паста, содержащая в своем составе 70 % матричного порошка ПГ-С27 на железной основе, 15 % карбида вольфрама WC, 10 % оксида алюминия Al_2O_3 и 5 % криолита. Ее использование позволит в среднем в 2,6 раза увеличить относительную износостойкость металлокерамических покрытий в сравнении с образцами из стали 65Г, принятыми за эталон сравнения. Применение пасты указанного состава обеспечит существенное повышение ресурса упрочненных рабочих органов машин в условиях их эксплуатации.

A. Kolomeichenko, N. Titov, O. Bagrintsev

INFLUENCE OF MULTICOMPONENT PASTE COMPOSITION ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF METAL-CERAMIC COATINGS OBTAINED AT CARBO-VIBRO-ARC HARDENING

Key words: *carbo-vibro-arc hardening; metal-ceramic coating; multicomponent paste; working element; micro-hardness; wear resistance; matrix material; ceramic components.*

Authors' personal details

1. **Kolomeichenko Alexander**, Doctor of technical sciences, professor, head of the Machine Reliability and Repair department, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 302019, Orel, General Rodin St., 69, e-mail: kolom_sasha@inbox.ru.

2. **Titov Nikolay**, Candidate of technical sciences, associate professor of the Machine Reliability and Repair department, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 302019, Orel, General Rodin St., 69, e-mail: ogau@mail.ru.

3. **Bagrintsev Oleg**, Post-graduate student of the Machine Reliability and Repair department, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 302019, Orel, General Rodin St., 69, e-mail: schmelji20@gmail.com.

The paper examines the peculiarities of carbo-vibro-arc hardening as a modern method of the composite metal-ceramic coatings formation on the cutting surfaces of machinery working elements. The goal of the performed investigations was to study the influence of the multicomponent paste used in carbo-vibro-arc hardening on hardness and wear resistance of the coatings obtained by this method. During the investigations, the iron based powder ПГ-C27 was used as the matrix material for multicomponent pastes for carbo-vibro-arc hardening. Tungsten carbide WC and aluminum oxide Al_2O_3 were used as ceramic components. In the pastes compositions we used ammonium nitrates NH_4NO_3 and cryolite Na_3AlF_6 , to improve the burning of the electric arc at carbo-vibro-arc hardening. Micro-hardness of the metal-ceramic coatings obtained at carbo-vibro-arc hardening was determined by means of micro-hardness tester ПМТ-3М-01. During abrasion tests, we used a special device with the design permitting simultaneous testing of the reference samples hardened by carbo-vibro-arc hardening applying the pastes with different composition.

According to the results of the test it was found that the content of the matrix powder and tungsten carbide WC in the composition of the multicomponent paste for carbo-vibro-arc hardening influences on the obtaining of metal-ceramic coatings with the maximum hardness (74 HRC). Minimal sample wear (0,20 g for 10 hours of testing) is provided by the metal-ceramic coatings obtained with the help of the paste, containing 70 % of the matrix powder and 15 % of tungsten carbide. Therefore, the performed investigations testified that the multicomponent paste containing 70 % of the iron based matrix powder ПГ-C27, 15 % of tungsten carbide WC, 10 % of aluminum oxide Al_2O_3 and 5 % of cryolite would be reasonable for carbo-vibro-arc hardening. Its application permits to increase the relative wear resistance of the metal-ceramic coatings at the average by 2,6 times compared to the samples of steel 65Г, accepted as a comparison standard. The application of the paste with the mentioned composition provides the substantial lifetime increase of the hardened working elements of machinery in conditions of their operation.

© Коломейченко А.В., Титов Н.В., Багринцев О.О.