

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

## TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 621.791

### Некоторые рекомендации по применению порошковых сплавов при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники способами плазменной наплавки и напыления

*Каримов А.А.*

**Аннотация.** Практика применения плазменной наплавки и напыления в сельскохозяйственном и машиностроительном производстве для целей восстановления и упрочнения изношенных деталей сельскохозяйственной техники показала сравнительно высокую эффективность этих процессов. Для дальнейшего повышения эффективности этих способов восстановления и упрочнения деталей, использованы далеко не все возможности и резервы, к числу которых относятся снижение расхода и применение более дешёвых рабочих газов; расширение номенклатуры восстанавливаемых деталей, за счет комбинированного применения различных порошковых присадочных материалов. В результате исследований нами было выявлено, что при подаче наплавочных порошков в плазматрон, наилучшими свойствами текучести обладают порошки, имеющие шаровидную форму с гранулометрическим составом 0,4...0,5 мм. Порошки, получаемые распылением жидкого металла водой или инертным газом, удовлетворяют всем требованиям плазменной наплавки. Оптимальная величина присадки алюминия для всей группы исследуемых сплавов сормайт +6...8%; УС-25+6...7%; А1; ФБХ-6-2+ 2...3% А1; Т-59ОП +10...12% А1; ПГ-Л101 +2...3% А1. Проверка эффективности самофлюсования в сравнении с защитой в газовых средах (Ar; N<sub>2</sub> ; CO<sub>2</sub>) показала, что качество наплавленного слоя у разработанных композиций не уступает наплавке в среде аргона. Твердость порошковых смесей составляет HRC 49-53. Износостойкость до 5 раз превышает износостойкость стали 45, закаленной до твердости HRC 54-56.

**Ключевые слова:** плазменная наплавка и напыление, порошковые сплавы самофлюсующиеся и на железной основе, оптимальный состав, износостойкость, текучесть порошковых твёрдых сплавов, химический состав, эффективность самофлюсования.

**Для цитирования:** Каримов А.А. Некоторые рекомендации по применению порошковых сплавов при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники способами плазменной наплавки и напыления // Инновационная техника и технология. 2025. Т. 12. № 1. С. 60–65.

### Some recommendations on the use of powder alloys in the restoration of agricultural machinery parts by plasma surfacing and spraying

*Karimov A.A.*

**Abstract.** The practice of using plasma surfacing and spraying in agricultural and mechanical engineering production for the purposes of restoring and strengthening worn parts of agricultural machinery has shown a relatively high efficiency of these processes. To further improve the efficiency of these methods of restoring and strengthening parts, not all the possibilities and reserves have been used, which include reducing consumption and using cheaper working

gases; expanding the range of restored parts through the combined use of various powder filler materials. As a result of our research, we found that when feeding surfacing powders into a plasma torch, the best flow properties are possessed by powders having a spherical shape with a granulometric composition of 0.4 ... 0.5 mm. Powders obtained by spraying liquid metal with water or inert gas meet all the requirements of plasma surfacing. The optimal value of aluminum additive for the entire group of studied alloys is sormite + 6 ... 8%; US-25 + 6 ... 7%; Al; FBH-6-2+ 2...3% Al; T-59OP +10...12% Al; PG-L101 +2...3% Al. Testing the efficiency of self-fluxing in comparison with protection in gas environments (Ar; N<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub>) showed that the quality of the deposited layer of the developed compositions is not inferior to deposition in an argon environment. The hardness of the powder mixtures is HRC 49-53. Wear resistance is up to 5 times higher than the wear resistance of steel 45, hardened to a hardness of HRC 54-56.

**Keywords:** plasma surfacing and spraying, self-fluxing and iron-based powder alloys, optimal composition, wear resistance, fluidity of powder hard alloys, chemical composition, self-fluxing efficiency.

**For citation:** Karimov A.A. Some recommendations on the use of powder alloys in the restoration of agricultural machinery parts by plasma surfacing and spraying. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2025. Vol. 12. No. 1. pp. 60–65. (In Russ.).

## Введение

Порошковый сплав для наплавки в первую очередь должен отвечать своему непосредственному назначению - получению наплавленного слоя (покрытия) с необходимыми служебными свойствами. Однако получение качественного наплавленного слоя сопряжено с целым рядом дополнительных требований к порошковому сплаву, возможности применения выбранного способа нанесения покрытий, а также касающихся их granulometric composition, текучести, насыщенности газами.

## Объекты и методы исследования

Исследованные нами порошковые твёрдые сплавы на железной основе сормайт 1, УС-25, ФБХ-6-2, и Т-590 приготавливаются путем распыления жидкого металла водой или сжатыми газами или же механическим дроблением. [5] Порошковые сплавы обычно поставляются в пластмассовых или металлических банках, герметично упакованными.

Granulometric composition порошка довольно разнообразен, поэтому представляло интерес выявить наиболее желательный, с точки зрения технологичности, размеров фракции порошка для наплавки.

Все выбранные для исследования сплавы тщательно просушивались при температуре 2000С. Испытанию подвергались порошки, прошедшие ситовой анализ. [6]

Одной из важных характеристик порошка является текучесть. Текучесть определялась отношением навески порошка (в граммах) ко времени вытекания порошка (в секунду).

## Результаты и их обсуждение

Опытов текучести порошковых твёрдых сплавов на железной основе, приведенные в таблице 1. показывают, что увеличение размеров фракции в значительной степени ухудшают текучесть материала.

Другими важными факторами влияющим на текучесть порошка является химический состав, содержание растворенных газов. [7] В этой связи были определены качественные и количественные составы материалов, а также газов (табл. 2.).

Определение химических элементов проводилось в соответствии с ГОСТ 16412.0-70. Газы определяли методом вакуум - плавки.

Наличие газов в материале в значительной степени осложняет процесс наплавки. Как показали различные исследования содержание кислорода в железохромомуглеродистых сплавах, предназначенных для газовой и плазменной наплавки, не должно превышать 0,06-0,08%.

Содержание кислорода в порошках малых фракций, как правило, выше, так как уменьшение зерна приводит к увеличению удельной поверхности, а следовательно, и увеличению содержания окисной пленки.

Порошки с крупным granulometric composition содержат значительно меньше газа. Однако увеличение фракции снижает текучесть, в результате пульсирующий расход порошков резко ухудшает качество наплавленного слоя. [8]

Как было установлено опытной проверкой, при подаче наплавочных порошков в плазматрон, наилучшими свойствами текучести обладают порошки, имеющие шаровидную форму с granulometric composition 0,4...0,5 мм. Порошки, полу-

Таблица 1 - Текучесть порошковых твёрдых сплавов на железной основе

| Гранулометрический состав (мм) | Текучесть, (г/с) |       |          |        |         |
|--------------------------------|------------------|-------|----------|--------|---------|
|                                | сормайт          | УС-25 | ФБХ-6-21 | Т-59ОП | ПГ-Л101 |
| 0,25...0,315                   | 4,2              | 4     | 5        | 2,4    | 3,4     |
| 0,4...0,5                      | 3,41             | 3,2   | 2,42     | 1,78   | 2,2     |
| 0,56...0,7                     | 1,7              | 1,5   | 1,67     | 0,6    | 1,1     |

Таблица 2 - Качественные и количественные составы материалов

| Материал | Химический состав, (%) |      |       |      |      |      |
|----------|------------------------|------|-------|------|------|------|
|          | С                      | Si   | Cr    | Mn   | Ni   | В    |
| Сормайт  | 3,42                   | 3,09 | 27,57 | 0,84 | 2,78 | -    |
| УС-25    | 4,85                   | 2,08 | 41,06 | 0,78 | 1,36 | -    |
| Т-59ОП   | 5,1                    | 2,54 | 46    | 0,65 | -    | 2    |
| ФБХ-6-2  | 4                      | 2,28 | 33,97 | 1,98 | -    | 1,35 |
| ПГ-Л101  | 5,7                    | 6,07 | 55,83 | 3,26 | 3,26 | -    |

Таблица 3 - Качественные и количественные составы газов

| Материал | Содержание газов, (%) |                       |                       |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|          | [O]x 10 <sup>-2</sup> | [N]x 10 <sup>-2</sup> | [H]x 10 <sup>-2</sup> |
| Сормайт  | 8,2                   | 3,8                   | 1,7                   |
| УС-25    | 13,9                  | 5,9                   | 0,4                   |
| Т-59ОП   | 5,4                   | 3,2                   | 1,2                   |
| ФБХ-6-2  | 13,1                  | 8,3                   | 3,4                   |
| ПГ-Л101  | 13                    | 6,7                   | 0,9                   |

Таблица 4 - Угар основных элементов

| Тип защиты         | Химический состав в (%) |      |       |      |      |       |
|--------------------|-------------------------|------|-------|------|------|-------|
|                    | С                       | Si   | Cr    | Mn   | Ni   | Al    |
| Аргон              | 2,5                     | 2,48 | 21,47 | 0,55 | 1,04 | 1,37  |
| Азот               | 1,9                     | 1,69 | 14,82 | 0,45 | 2,17 | 1,16  |
| Углекислый газ     | 2,05                    | 1,69 | 14,67 | 0,4  | 2,15 | 0,95  |
| Без газовой защиты | 1,62                    | 1,47 | 13,96 | 0,48 | 1,77 | 1,78  |
| Исходный материал  | 3,42                    | 3,09 | 27,57 | 0,84 | 2,78 | 6...8 |

чаемые распылением жидкого металла водой или инертным газом, удовлетворяют всем требованиям плазменной наплавки. Эти порошки обладают наилучшей текучестью. Однако из железохромоуглеродистых сплавов в настоящее время методом распыла производится только сплав сормайт. Все остальные литые порошки получены дроблением, что сказалось на их технологических свойствах. В

месте с тем, определенный размер фракции – 0,5 мм удовлетворяет всем требованиям, выбранным для анализа сплавов.

Из литературных источников установлено, что для обеспечения самофлюсования порошков на железной основе в них необходимо добавлять порошковый алюминий. При этом рабочими газами для плазменной наплавки и напыления могут быть аргон или азот.

Аналитический расчет потребного количества вводимого алюминия весьма сложен и вряд ли необходим. [9] Поэтому в данной работе решался вопрос принципиальной возможности снижения затрат защитного аргона введением активных добавок. Как было установлено из литературных источников, даже при минимальной добавке алюминия около 1% наблюдалось хорошее формирование валика.

Тем не менее качество наплавки не всегда удовлетворяло ряду требований. Поэтому было принято решение экспериментальным путем определить состав, считая, что оптимальное количество алюминия соответствует минимальной добавке, обеспечивающей сплошной, беспористый шов. В качестве проб была произведена наплавка композиций с различным содержанием алюминия от 1 до 12%.

Необходимое количество алюминия по результатам исследований было установлено по диаграммам (рис.1).

Лучшими из исследуемых композиций оказались: Сормайт + 6...8% Al; УС-25+6...7% Al; ФБХ-6-2 + 3% Al; Т-59ОП+10...12% Al.

Твердость наплавки с увеличением процентного содержания алюминия изменялась (рис 2.). Причем при малых значениях снижалась и после некоторого минимума монотонно возрастала. [10]

Исследованию использования для плазменной наплавки и напыления твердых порошковых сплавов на железной основе посвящен целый ряд работ, в которых, в частности, в работе Вагнера показана роль газовой защиты, определены наилучшие защитные среды. Отмечается, что тот или иной газ по-разному влияет на формирование валика, причем в отдельных случаях в значительных пределах изменяются свойства самой наплавки и напыления.

Поэтому представляло определенный интерес сравнить результаты полученных порошковых композиций с наплавками, произведенными в газовой защите и без неё. Качество самофлюсования оценивалось по угару основных легирующих элементов, наличию пор, трещин, несплавлений. Угар основных элементов характеризуется данными, приведенными в табл. 4.

Как видно из приведенной таблицы 4, наименьший угар элементов был получен при наплавке в аргоне. Что же касается наплавки в углекислом газе и в азоте, то в этих случаях выгорание элементов было приблизительно в пределах полученных и без газовой защиты, кроме того, при наплавке в азоте были обнаружены поры. Трещины и несплавления

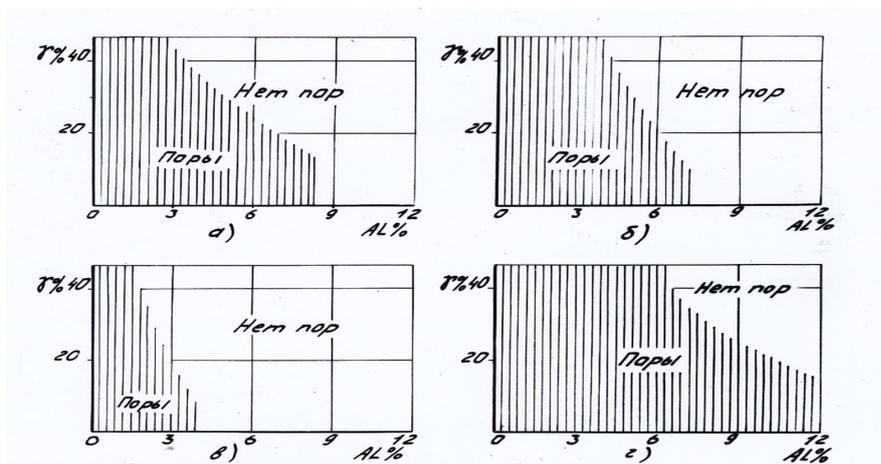


Рис. 1. Диаграммы влияния содержания алюминия и перемешивания сварочной ванны на пористость наплавов: а- сормайт; б-УС-25; в-ФБХ-6-2; г-Т-590П.

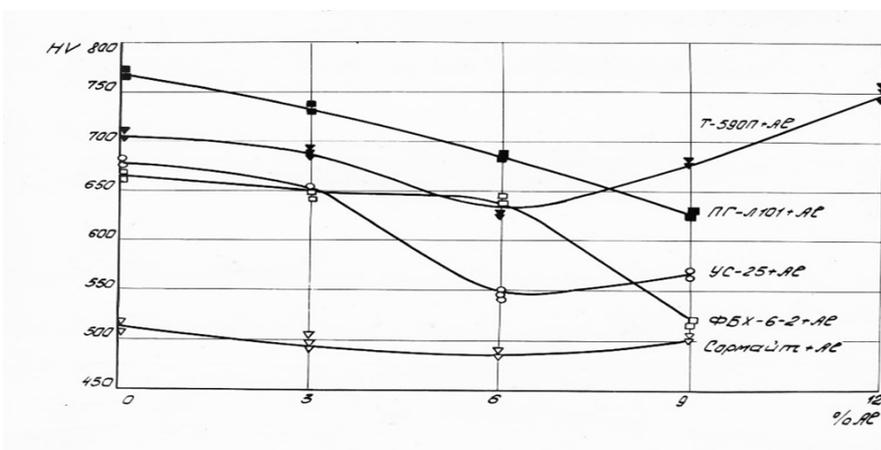


Рис. 2. График зависимости изменения твердости наплавов от содержания алюминия

ния во всех вариантах наплавов отсутствовали. Оптимальная величина присадки алюминия для всей группы исследуемых сплавов сормайт +6...8%; УС-25+6...7%; А1; ФБХ-6-2+ 2...3% А1; Т-590П +10...12% А1; ПГ-Л101 +2...3% А1.

Проверка эффективности самофлюсования в сравнении с защитой в газовых средах (Ar; N<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub>) показала, что качество наплавленного слоя у разработанных композиций не уступает наплавке в среде аргона.

Важнейшим критерием качества наплавлен-

ного металла является его сопротивление износу. Поэтому при выборе сплава и способа его наплавки следует обращать внимание на итог всего процесса – получение желаемых свойств рабочих поверхностей.

Вместе с тем, сам процесс наплавки, сопряженный с протеканием целого ряда химических реакций и структурных превращений, может привести к изменению свойств покрытия. В процессе наплавки может изменяться глубина проплавления, разбавление металла наплавки материалом основы и как следствие – некоторое снижение твердости покрытий, что в известной степени отражается на износостойкости.

Из обзора литературных источников установлено, что в настоящее время не значительно экспериментальных данных, оценивающие влияние режима плазменной наплавки на главную характеристику, её стойкость истиранию. [11]. Кроме того, представляет определенный интерес выявить такую связь у разработанных самофлюсующихся композиций.

Испытания на трение и износ можно отнести к одним из самых сложных и длительных. В связи с этим М.М. Хрущёв считает, что создание универсального лабораторного метода испытаний на износ является невозможным и в исследованиях необ-

Таблица 5 - Состав порошковых смесей

| Условное обозначение порошковой смеси | Состав порошковой смеси |
|---------------------------------------|-------------------------|
| ПС-1                                  | 50% ПГ-ХН80СР2          |
|                                       | 50% Сормайт-1           |
| ПС-2                                  | 50% СНГН 60             |
|                                       | 50% Сормайт-1 (ПГ-С1)   |
| ПС-3                                  | 50% ПГ-ХН80СР2          |
|                                       | 50% ФБХ-6-2             |
| ПС-4                                  | 30% ПГ-ХН80СР3          |
|                                       | 70% Сормайт-1           |
| ПС-5                                  | 20% ПГ-ХН80СР4          |
|                                       | 80% Сормайт-1           |

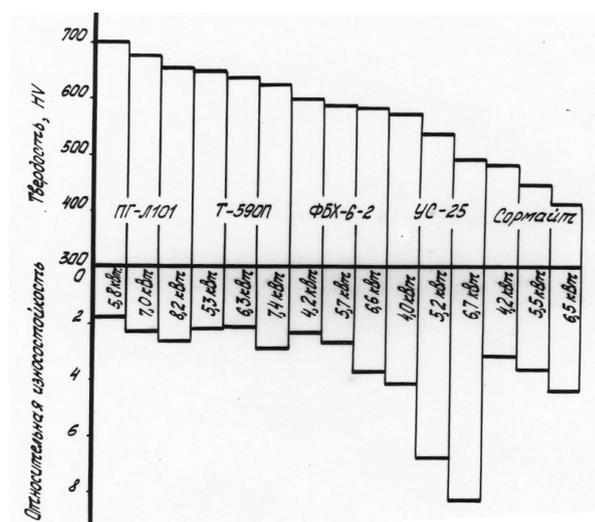


Рис 3. Диаграмма относительной износостойкости и твердости наплавов

ходимо стремиться применять тот способ, который в наибольшей степени имитирует условия работы материала при эксплуатации.

В основу наших испытаний был положен сравнительный метод, при котором износостойкость наплавов сравнивалась с износостойкостью эталона из закаленной стали 45 (HRC 45), отвечающего по свойствам наиболее используемой в сельскохозяйственном машиностроении стали.

Полученные результаты испытания наплавов на изнашивание приведены на рисунке 3.

## Литература

- [1] Карагодин В. И., Митрохин Н. Н. Ремонт автомобилей и двигателей : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. И. Карагодин, Н. Н. Митрохин. — М. : Академия, 2007. — 496 с.
- [2] Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин : учебник для вузов / В. В. Курчаткин [и др.]. — М. : Колос, 2000. — 776 с.
- [3] Радченко М. В. Защитные и упрочняющие покрытия / М. В. Радченко. — Барнаул, 2010. — 150 с.
- [4] Иванов В. П. Восстановление и упрочнение деталей : справочник / В. П. Иванов [и др.]. — М. : Наука и технология, 2013. — 320 с.
- [5] Khudoyberdiev T. S., Boltaboev B. R., Kholdarov M. S. Improved Design of Universal Combined Cultivator-fertilizer // International Journal on Orange Technologies. — 2020. — Vol. 2, № 10. — P. 83–85.
- [6] Tursunov B. N., Abdumannopov A. M., Kholdarov M. Sh. Improving Soil Softening Work Bodies Structures / T. S. Khudoyberdiev [et al.] // Efflatounia. — 2021. — Vol. 5, Issue 3. — P. 131–135. — ISSN: 1110-8703.
- [7] Аброрбек А. К., Бобомурод А. А., Обомуслим

Наилучшая износостойкость получена у материалов УС-25 + Al и сормайт + Al, наплавленных на режимах со значительным проплавлением.

Исследования, направленные на снижение стоимости материалов для наплавки и напыления, проводились путем смешивания в определенных соотношениях порошков на никелевой и железной основах (таб.5). Опыты показали, что при напылении и наплавке смесей качество покрытий, их физико-механические свойства получаются даже выше, чем при использовании одного хромоникелевого порошка.

## Выводы

Следует отметить, что стоимость порошков на железной основе типа сормайт стоят значительно ниже хромоникелевых порошков. Твердость порошковых смесей составляет HRC 49-53. Износостойкость до 5 раз превышает износостойкость стали 45, закаленной до твердости HRC 54-56. Усталостная прочность повышается на 30-45%, в то же время при использовании одного порошкового хромоникелевого сплава (ПГ-ХН80СР2) усталостная прочность снижается на 5-10%. До б а в ление в состав сормайта 2-3% самофлюсующего элемента бора и их смешивание с хромоникелевым сплавом позволили уменьшить содержание последнего в смеси до 20% и тем самым значительно снизить стоимость материала покрытия.

## References

- [1] Karagodin V. I., Mitrokhin N. N. Car and Engine Repair: a textbook for students of secondary vocational education institutions / V. I. Karagodin, N. N. Mitrokhin. — Moscow: Academy, 2007. — 496 p.
- [2] Kurchatkin V. V. Machine Reliability and Repair: a textbook for universities / V. V. Kurchatkin [et al.]. — Moscow: Kolos, 2000. — 776 p.
- [3] Radchenko M. V. Protective and Hardening Coatings / M. V. Radchenko. — Barnaul, 2010. — 150 p.
- [4] Ivanov V. P. Restoration and Hardening of Parts: a reference book / V. P. Ivanov [et al.]. — Moscow: Science and Technology, 2013. — 320 p.
- [5] Khudoyberdiev T. S., Boltaboev B. R., Kholdarov M. S. Improved Design of Universal Combined Cultivator-fertilizer // International Journal on Orange Technologies. — 2020. — Vol. 2, No. 10. - P. 83–85.
- [6] Tursunov B. N., Abdumannopov A. M., Kholdarov M. Sh. Improving Soil Softening Work Bodies Structures / T. S. Khudoyberdiev [et al.] // Efflatounia. — 2021. — Vol. 5, Issue 3. - P. 131–135. — ISSN: 1110-8703.
- [7] Abrorbek A.K., Bobomurod A.A., Obomuslim A.M. Application of high-speed flame spraying for restoration and strengthening of parts of working bodies of agricultural machines // Actual issues of modern science. - 2019. - P. 94-99.

- А. М. Применения высокоскоростного газопламенного напыления для восстановления и упрочнения деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин // Актуальные вопросы современной науки. — 2019. — С. 94–99.
- [8] Абдуманнонов Б. А., Мамадалиев М. Х. Результаты исследования рабочих органов глубокихрыхлящих машин при безотвальной обработке почвы // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. — 2018. — С. 80–83.
- [9] Мирзаев И. Г., Зулунув З. Т., Абдуманнонов Б. Исследование влияния температуры топлива и гидравлического сопротивления фильтрующих элементов тонкой очистки топлива на цикловую подачу // Российский электронный научный журнал. — 2014. — С. 33–38.
- [10] Abdumannonov B. A., Karimov A. A. Substantiation of the Composition of the Powdered Composite Material Formed for Coating the Working Surfaces of the Details // JournalNX. — 2020. — Vol. 6, № 10. — P. 312–315.
- [11] Abdumannonov B. A., Karimov A. A., Abdumannanova M. O. Application of Sintered Powder Tape for Restoration of Parts Type «Shaft» by the EKP Method // Innovative Technologica: Methodical Research Journal. — 2021. — Vol. 2, № 6. — P. 1–8.
- [8] Abdumannonov B.A., Mamadaliev M.Kh. Results of the study of working bodies of deep-loosening machines during moldboard-free soil cultivation // Young researchers of the agro-industrial and forestry complexes - to the regions. - 2018. - P. 80-83.
- [9] Mirzaev I.G., Zulunov Z.T., Abdumannonov B. Study of the influence of fuel temperature and hydraulic resistance of fine fuel filter elements on cyclic feed // Russian Electronic Scientific Journal. - 2014. - P. 33-38.
- [10] Abdumannonov B. A., Karimov A. A. Substantiation of the Composition of the Powdered Composite Material Formed for Coating the Working Surfaces of the Details // JournalNX. — 2020. — Vol. 6, No. 10. - P. 312–315.
- [11] Abdumannonov B. A., Karimov A. A., Abdumannanova M. O. Application of Sintered Powder Tape for Restoration of Parts Type «Shaft» by the EKP Method // Innovative Technologica: Methodical Research Journal. — 2021. — Vol. 2, No. 6. - P. 1–8.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Аброрбек Аббосович Каримов</b><br/>кандидат технических наук<br/>старший преподаватель кафедры «Сельскохозяйственная техника и технический сервис»<br/>Андижанский институт сельского хозяйства и агротехнологий<br/>170600, Республика Узбекистан, Куйган-Ёр пос., ул. Олийгох куча 1 уй.<br/><b>Тел.:</b><br/><b>E-mail:</b> mukhammadjon1007@mail.ru</p> | <p><b>Karimov Abrorbek Abbosovich</b><br/>doctor of philosophy of technical sciences PhD<br/>Senior Lecturer of the Department «Agricultural machinery and technical service»<br/>Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies<br/><b>Phone:</b><br/><b>E-mail:</b> mukhammadjon1007@mail.ru</p> |
|---|---|