

### Литература

1. Кугель Р.В., Испытания на надёжность машин и их элементов. М.: Машиностроение. 1982. – 181 с.
2. Сорокин В.М., Зотова В.А., Михеев А.В. и др. Методика и результаты сравнительных испытаний на износ- и задиростойкость гильз и цилиндров после комбинированной обработки. Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика. Ч.2, СПб.: изд. Политехнического университета, 2012. – с. 311-316.

### *Abstract*

*The presented description the new construction machine friction for accelerations tests materials and results pronounced.*

УДК 621.391.92.03

### **ВИБРОДУГОВАЯ НАПЛАВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИТОВОГО ЭЛЕКТРОДА И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПАСТ – ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН**

*Н.В. Титов, к.т.н., доцент, А.В. Коломейченко, д.т.н., профессор  
ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»,  
г. Орел, Российская Федерация*

*В статье представлен перспективный способ упрочнения рабочих органов машин, работающих в условиях прямого воздействия абразивных частиц. Показано, что упрочненные данным способом стрельчатые лапы культиваторов имеют в среднем в 1,5...1,9 раза более высокую износостойкость, чем серийные неупрочненные лапы.*

При эксплуатации почвообрабатывающих и многих других машин (дорожно-строительных и мелиоративных, для внесения удобрений, очистки животноводческих ферм и т.д.) их рабочие органы вследствие воздействия абразивных частиц интенсивно изнашиваются. Это приводит к простоям техники, а также к значительным затратам на новые запасные части. Поэтому разработка и внедрение технологий упрочнения рабочих органов данных машин является актуальной задачей, решение которой имеет большое значение для различных отраслей.

В связи с интенсивным развитием фермерских хозяйств и малых сельскохозяйственных предприятий различных форм собственности возникает необходимость упрочнения рабочих органов машин для увеличения их наработки в

условиях мелкосерийного производства. Для решения этой задачи в ГНУ ГОСНИТИ разработаны технология и оборудование для скоростного электродугового упрочнения (ЭДУ) рабочих органов. Сущность ЭДУ заключается в термодиффузионном насыщении поверхности детали углеродом за счет испарения графитового электрода при горении прямой или косвенной дуги [1]. При использовании ЭДУ обеспечивается высокая производительность процесса, а разработанное оборудование отличается простотой конструкции, невысокой стоимостью и мобильностью. Вместе с тем, скоростное ЭДУ обеспечивает твердость упрочняемой поверхности не выше 53..56 HRC, что для многих рабочих органов оказывается недостаточным.

Значительно повысить твердость и износостойкость рабочих органов машин позволяет современный инновационный способ упрочнения – вибродуговая наплавка (ВДН) с использованием графитового электрода и металлокерамических паст (МКП). Сущность способа заключается в следующем. Вначале на режущую кромку рабочего органа наносится МКП, которая высушивается до затвердевания. Затем между упрочняемой поверхностью с нанесенной МКП и графитовым электродом установки зажигается электрическая дуга. При ее горении происходит как ВДН с получением металлокерамического покрытия, так и термодиффузионное насыщение металла рабочего органа легирующими элементами, входящими в состав МКП, и углеродом за счет его диффузии вследствие сублимации графитового электрода [2, 3]. Применение при ВДН металлокерамических материалов в виде паст обусловлено их очень высокой стойкостью к абразивному и коррозионно-механическому изнашиванию.

В состав МКП входит стальная матрица (наплавочный порошок), оксиды алюминия  $Al_2O_3$  и кремния  $SiO_2$ , карбид бора  $B_4C$ , являющиеся керамическими компонентами, а также азот и алюминий (легирующие компоненты). Связующим веществом является 50% водный раствор клея ПВА. Матрица служит противоударным, удерживающим и композитным каркасом МКП. Поэтому в качестве матричного материала целесообразно использовать стальные наплавочные порошки с высокой твердостью и абразивной стойкостью. Керамические компоненты вводятся в состав МКП из-за их высокой твердости. Они обеспечивают упрочненным рабочим органам соответствующие износо- и коррозионную стойкость. Наиболее предпочтительным является использование карбида бора, но его стоимость несколько выше, чем цена оксидов алюминия и кремния. Вместе с тем, при использовании последних хуже зажигается и горит электрическая дуга, что приводит к некоторому снижению износостойкости упрочненного рабочего органа. Использование в составе МКП веществ, содержащих азот (например, нитрата аммония  $NH_4NO_3$  или карбамида  $NH_2CONH_2$ ) связано с тем, что при их термодиссоциации азот образует нитриды  $Fe_4N$ ,  $Fe_3N$ ,  $Si_3N_4$

и др., которые также являются упрочняющими компонентами. Алюминий используется для раскисления железа, а также образования керамической фазы путём превращения его в оксид алюминия  $Al_2O_3$  и, при последующем расплавлении, в корунд. Последний в минералогической таблице по твёрдости занимает 9-е место, что очень близко к твёрдости алмаза.

Для ВДН используют установку ВДГУ-2, которая разработана и производится в ГНУ ГОСНИТИ (рисунок 1). В состав установки входит инверторный тиристорный источник тока типа MASTER 162 на 200...250А, пульт управления и вибратор с закрепленным в нем графитовым электродом диаметром 8...10 мм.

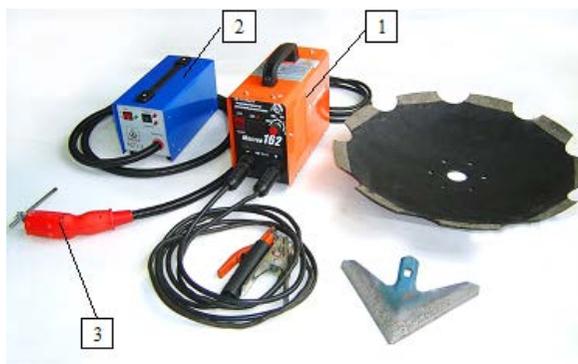


Рисунок 1 – Комплект оборудования ВДГУ-2 для упрочнения рабочих органов машин: 1 – источник тока; 2 – пульт управления; 3 – вибратор с графитовым электродом

Проведенные исследования упрочненных образцов с использованием МКП различного состава позволили установить, что твердость упрочненного основного металла изменяется в интервале 51...56 HRC, а наплавленного покрытия – от 70 до 76 HRC, тогда как твердость закаленной стали 65Г находится в интервале 44...48 HRC. Вместе с тем, ресурс рабочих органов машин, упрочненных ВДН и работающих в условиях абразивного износа, зависит не только от твёрдости, но и от состояния границы наплавленного слоя с основным металлом, т.е. от эффекта расплавления материала основы и смешивания его с расплавом МКП. Проведенный анализ позволил установить, что микроструктура упрочнённых образцов независимо от состава используемых МКП состоит из 3-х зон (рисунок 2).

Основной металл (зона 1) имеет выраженные фазовые изменения до линии раздела за счёт диффузии элементов, входящих в состав наплавленной МКП, и углерода. Наплавленный слой состоит из 2-х зон – переходной

и основной упрочненной. Переходная зона представляет собой сплав расплавленного верхнего слоя основы и материала МКП. Основная упрочненная зона является наиболее твердой и состоит из стальной матрицы, удерживающей образованные карбиды железа  $FeC$ ,  $Fe_2C_3$ , бориды  $FeB$  и  $Fe_2B$  и керамические фазы – железную шпинель, карбид бора и корунд. Линия перехода наплавленного слоя в основной металл более четко прослеживается на снимках микроструктуры при малом увеличении.

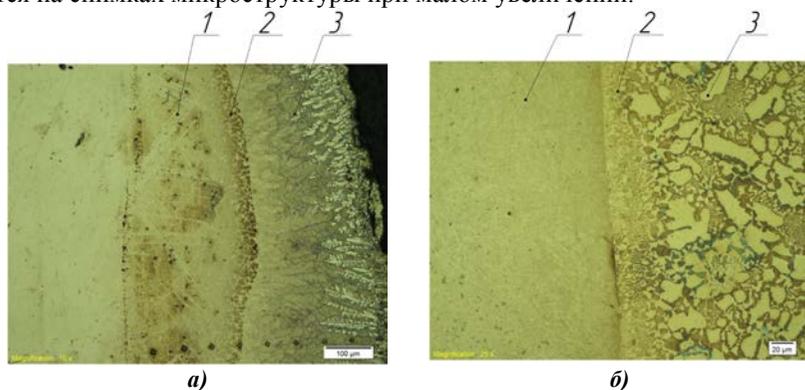


Рисунок 2 – Микроструктура образцов, упрочненных ВДН с использованием графитового электрода и МКП, при увеличении  $10^x$  (а) и  $25^x$  (б).  
Зоны: 1 – основной металл; 2 – переходная; 3 – основная упрочненная

Оценка эффективности использования ВДН для упрочнения рабочих органов машин проводилась на примере упрочнения стрелчатых лап. В настоящее время в сельском хозяйстве для обработки почвы используется большое количество отечественных и зарубежных машин (культиваторы, посадочные комплексы, сеялки, рыхлители и др.), основным рабочим органом которых являются стрелчатые лапы. При эксплуатации данных машин стрелчатые лапы вследствие прямого воздействия абразивных частиц интенсивно изнашиваются, их режущие кромки затупляются, происходит существенное изменение формы, профиля и рабочих размеров. В результате снижается качество выполняемых работ, нарушаются агротехнические сроки их проведения, увеличиваются простои техники, возрастают затраты на обработку почвы и топливосмазочные материалы, уменьшается количество полученной товарной продукции. При некачественной культивации теряют всхожесть до половины высеваемых семян, а взошедшие созревают неравномерно.

Были проведены полевые испытания стрелчатых лап культиватора КШУ-12Н, выпускаемого Грязинским культиваторным заводом, упрочненных ВДН в сравнении с новыми неупрочненными изделиями. Испытания проводились на супесчаных почвах. Для упрочнения лап была подготовлена

МКП, содержащая наплавочный порошок ПГ-10Н-01, карбид бора, оксид кремния, нитрат аммония и алюминиевый порошок. МКП готовилась смешением указанных компонентов механическим способом с добавлением связующего вещества. Всего было упрочнено 12 стрелчатых лап. У половины испытуемых лап МКП наносилась на лицевую сторону (рисунок 3, а). На оставшиеся лапы МКП наносили на тыльную сторону (рисунок 3, б).

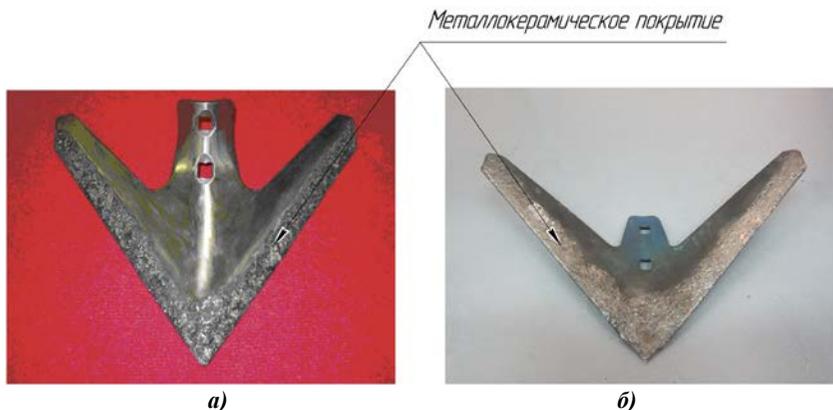


Рисунок 3 – Стрелчатые лапы культиватора КШУ-12Н, упрочненные ВДН при нанесении МКП с лицевой стороны (а) и с тыльной стороны (б)

Толщина нанесенного слоя МКП составляла 2,5...3,0 мм. После нанесения она высушивалась до затвердевания и расплавлялась электрической дугой на следующих режимах: сила тока  $I=70...80$  А, напряжение  $U=60$  В, частота вибрации графитового электрода – 25...50 Гц. Толщина полученного металлокерамического покрытия составляла 0,7...0,8 мм, глубина упрочнения – 1,3...1,5 мм, твердость – 73...75 HRC. После ВДН производилась термическая обработка лезвий лап токами высокой частоты (ТВЧ).

Многочисленными исследованиями установлено, что независимо от типа почв у стрелчатых лап наиболее интенсивно изнашивается носок [4, 5]. Его износ в среднем в 3...4 раза превышает износ остальных поверхностей лап. Также одним из выбраковочных критериев стрелчатых лап является предельный износ их крыльев по ширине.

Измерение износа стрелчатых лап проводилось по следующей методике. Изношенная лапа укладывалась на лист бумаги, на котором был обозначен контур новой лапы. Измерялось расстояние от контура изношенной лапы до контура новой лапы по носку и крыльям. После этого вычислялось среднее арифметическое значение по каждому измеряемому параметру.

Полученные после полевых испытаний значения износов стрелчатых лап представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты полевых испытаний стрелчатых лап культиватора КШУ-12Н

Способ упрочнения	Среднее значение износа носка стрелчатых лап, мм	Среднее значение износа крыльев стрелчатых лап по ширине, мм
ВДН при нанесении МКП с лицевой стороны лапы	21	4
ВДН при нанесении МКП с тыльной стороны лапы	17	3
Без упрочнения	32	10

Проведенные полевые испытания позволили установить, что при наработке 22 га неупрочненные стрелчатые лапы достигли своего предельного состояния (износ носка составил 32 мм) и подлежат замене. Износ носка упрочненных стрелчатых лап составил, соответственно, 21 мм (при нанесении МКП с лицевой стороны лапы) и 17 мм (при нанесении МКП с тыльной стороны лапы). Таким образом, износостойкость упрочненных ВДН с использованием графитового электрода и МКП стрелчатых лап оказалась в среднем в 1,5 и 1,9 раз выше, чем у серийных неупрочненных изделий. Аналогичные результаты получились и при анализе износов крыльев стрелчатых лап по ширине после полевых испытаний.

### **Литература**

1. Рыжих, Ю. Л. Метод электродуговой скоростной цементации почвообрабатывающей и другой техники [Текст] // Труды ГОСНИТИ, 2008.-Т.101. – С. 169-173.
2. Титов, Н. В. Анализ перспективных способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / Н. В. Титов, А. В. Коломейченко, В. В. Виноградов // Техника и оборудование для села, 2013.-№10. – С. 33-36.
3. Литовченко, Н. Н. Упрочнение рабочих органов машин, работающих в абразиве [Текст] / Н. Н. Литовченко, Н. В. Титов, А. В. Коломейченко [и др.] // Труды ГОСНИТИ, 2013.-Т.111.-Ч.2. – С. 86-88.
4. Севернев, М. М. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / М. М. Севернев, Г. П. Каплун. – Л. : Колос, 1972.-288с.
5. Ткачев, В. Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания [Текст] / В. Н. Ткачев. – М. : Машиностроение, 1995.-336с.

### **Abstract**

*The perspective way of hardening of working bodies of the cars working in the conditions of direct influence of abrasive particles is presented in article. It is shown that the lancet paws of cultivators strengthened by these way have on the average in 1,5...1,9 times higher wear resistance, than the serial not strengthened paws.*