

УДК 620.178.162

## Влияние дисперсного наполнителя из фракций отходов абразивных кругов на интенсивность изнашивания композита с эпоксидной основой

### Influence of particulate filler from waste fractions of abrasive wheels on wear-out rate of composites based on epoxy

А. М. МИХАЛЬЧЕНКОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наукЯ. Ю. БИРЮЛИНА<sup>2</sup>, инж.М. А. МИХАЛЬЧЕНКОВА<sup>2</sup>, инж.

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка, Москва, Россия, mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

<sup>2</sup> Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Брянская обл., Россия, yana.klimova90@yandex.ru

A. M. MIKHAL'CHENKOV<sup>1</sup>, DSc in EngineeringYa. Yu. BIRYULINA<sup>2</sup>, EngineerM. A. MIKHAL'CHENKOVA<sup>2</sup>, Engineer

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Technology for Repair and Maintenance of Machine and Tractor Fleet, Moscow, Russia, mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

<sup>2</sup> Bryansk State Agrarian University, Kokino, Bryansk region, Russia, yana.klimova90@yandex.ru

Несмотря на широкое распространение клеполимерных композиционных дисперсных материалов в различных отраслях производства, они недостаточно востребованы как материалы для восстановления и упрочнения поверхностей трения деталей почвообрабатывающих машин. Причина кроется в неизученности их триботехнических свойств. К таким материалам относятся композиты на основе эпоксидных составляющих, наполненные фракциями отходов абразивных кругов. Изучались эпоксидный состав, включающий 100 массовых частей ЭД-20 и 7 массовых частей отвердителя, и композит, включающий указанный эпоксидный состав и абразивные фракции отходов заточных кругов в соотношении 30 к 70 %. Исследовались характер протекания износа во времени испытаний, а также влияние времени испытаний на интенсивность изнашивания композита и эпоксидного состава без наполнителя. Исследования носили сравнительный характер и проводились по собственной методике. Ее суть заключается в проведении испытаний 16 образцов одновременно в одинаковых условиях в любой момент реализации эксперимента. Проведенные испытания показали, что зависимость износа и интенсивности изнашивания от времени испытаний имеет классический характер, выявленный ранее рядом исследований. Присутствие в композите дисперсного компонента в виде фракций отходов абразивных кругов снижает интенсивность его изнашивания. Установлено, что интенсивность изнашивания композита в 1,5 раза меньше, чем интенсивность изнашивания эпоксидного состава без наполнителя, что позволяет применять его в качестве абразивостойкого ремонтного материала при восстановлении деталей.

**Ключевые слова:** износ; интенсивность изнашивания; абразивная среда; эпоксидный состав; отходы абразивных кругов; композит; восстановление.

In spite of wide use of the polymer adhesive composite disperse materials in various industries, they aren't in demand as materials for the restoration and strengthening of the friction surfaces of parts of tillage machines. The reason lies in the obscurity of their tribotechnical properties. First of all, these materials include the composites based on epoxy components filled with waste fractions of abrasive wheels. Therefore, the wear pattern during the testing time, as well as the effect of testing time on wear-out rate of the composite and of epoxy composition without filler have been investigated. The studies were of comparative nature and were carried out using an individual method. The content of this method is testing of 16 samples simultaneously in the same conditions at any time of the experiment. The epoxy composition (100 weight parts of ED-20 epoxy and 7 weight parts of hardener) and the composite comprising such epoxy composition and abrasive waste fractions of grinding wheels in the ratio of 30 to 70 % respectively have been studied. The results of the experiments show that the dependence of wear and wear-out rate on testing time has a classic nature, identified previously in number of studies. The presence of dispersive component in composite in the form of waste fractions of abrasive wheels has a positive effect on reducing of its wear-out rate. It is established that the wear-out rate of composite is 1.5 times less than the wear-out rate of epoxy composition without filler, providing thereby the possibility of its use as an abrasion-resistant repair material for restoration of parts.

**Keywords:** wear; wear-out rate; abrasive medium; epoxy composition; wastes of abrasive wheels; composite; restoration.

#### Введение

В работах [1, 2] показана возможность применения дисперсных композитов с эпоксидной матрицей в качестве антиабразивных покрытий при восстановлении деталей почвообрабатывающих орудий. Увеличение стойкости к абразивному изнашиванию в этом случае дости-

гается введением в клеполимерную основу дисперсного абразивостойкого компонента, состоящего из фракций природного песка [3].

Определенным потенциалом в этой сфере обладают эпоксидные композиты с наполнителями из отходов абразивных кругов, выделенных из шлама от заточки ме-

таллообрабатывающего инструмента. В исследованиях [4] получены положительные результаты при применении шлифовальных металлоабразивных отходов подшипникового производства в качестве составляющих порошковых материалов для формирования покрытий повышенной износостойкости на деталях, эксплуатируемых в почвенной среде (лемеха, культиваторные лапы).

Нужно отметить, что полимерные композиты с наполнителями из абразивных компонентов природного или искусственного происхождения имеют широкие перспективы при их использовании в ремонтном производстве как износостойких материалов для устранения износов и сквозных протираний. Примером такого применения может служить восстановление плужных отвалов и лемехов [5, 6]. Весьма важно и то, что нанесение покрытий происходит в жидкой фазе и позволяет устранять дефекты на поверхностях любой геометрической формы.

Однако недостаток информации о триботехнических показателях композитов на основе эпоксидной смолы и отходов абразивных кругов не позволяет в полной мере оценить их значимость как противоабразивных покрытий, особенно в отношении изделий, работающих в незакрепленном абразиве (почвенной среде).

#### Цель исследования

Цель исследования состоит в выявлении характера изнашивания (зависимости между износом  $\Delta h$  и временем испытаний  $T$ ), а также влияния времени испытаний на интенсивность изнашивания  $i$  композита на эпоксидной основе с наполнителем из фракций отходов абразивных кругов в сравнении с эпоксидным составом без наполнителя.

#### Материалы и методы

Изучение процесса износа проводилось на установке по методике, которая заключается в одновременном вращательном перемещении в абразивной среде нескольких покрытий, сформированных на одном основании [7]. Для проведения эксперимента формировались четыре области, состоящие из двух участков исследуемых материалов (по два участка для каждой композиции). Таким образом, одновременно испытывалось 16 образцов, что обеспечило сравнимость и высокую достоверность результатов. Износ контролировался методом лунок по изменению высоты шарового сегмента.

Экспериментальные материалы: 1) клеевой состав, включающий 100 массовых частей эпоксидной смолы ЭД-20 и 7 массовых частей отвердителя полиэтиленполиамина; 2) указанный клеевой состав с фракциями из отходов абразивных кругов, выделенных из шлама от заточки металлообрабатывающего инструмента. Соотношение эпоксидной матрицы и фракций отходов абразивных кругов — 30 к 70 % [5]. В эксперименте использовали отходы кругов, в состав которых входили электрокорунды и карбиды кремния. Микротвердость абразивных частиц находилась в диапазоне от 2000 до 3300 НВ. Частицы абразивных кругов отделялись от шлама путем удаления металлических фракций магнитной сепарацией. Абразивной средой служила смесь

кварцевого песка и гранитной крошки в соотношении 70 к 30 %.

#### Результаты и их обсуждение

Полученные зависимости  $\Delta h = f(T)$  показывают (рис. 1), что для обоих материалов изменение износа во времени испытаний имеет одинаковый характер и представляет собой прямолинейную функцию. Подобные исследования материалов иной природы [8, 9] говорят об идентичности протекания изнашивания, что указывает на определенную общность процессов износа в абразивной среде для металлических и полимерных тел.

По графикам на рис. 1 можно проследить следующую особенность. По мере роста времени испытаний происходит сближение прямых  $\Delta h = f(T)$  для обоих материалов. Так, разность между износами при  $T = 5$  мин составляет 0,4 мм, а при  $T = 38$  мин она равна 0,1 мм. Это указывает на некоторое выравнивание сопротивляемости изнашиванию клеевого состава и композита.

Что касается композита, следует полагать, что это связано прежде всего со снижением количества твердых фракций, выступающих над поверхностью клеевой массы, по причине истирания. Кроме того, происходит их частичное удаление вследствие невысокой адгезии, так как данные фракции не полностью связаны с эпоксидной матрицей из-за усадки при полимеризации. Определенную роль в снижении  $\Delta h$  играет завершение процесса приработки.

В свою очередь, износостойкость эпоксидного клеевого состава возрастает благодаря устранению поверхностных несовершенств в виде шероховатости и установлению оптимальной совместимости контактирующей поверхности и изнашивающей среды. Тем не менее разность в износах составов остается из-за наличия в композите твердых дисперсных составляющих, которые оказывают сопротивление фракциям абразивной среды.

Отметим, что износ, составляющий 2 мм (см. рис. 1), достаточный для достоверной оценки результатов и анализа динамики изнашивания, можно получить за весьма незначительный промежуток времени, равный 40 мин. Это позволяет провести ускоренные сравнительные испытания.

Показатель, более полно характеризующий процесс износа, — интенсивность изнашивания  $i$ . Данный параметр при проведении испытаний проявил себя как

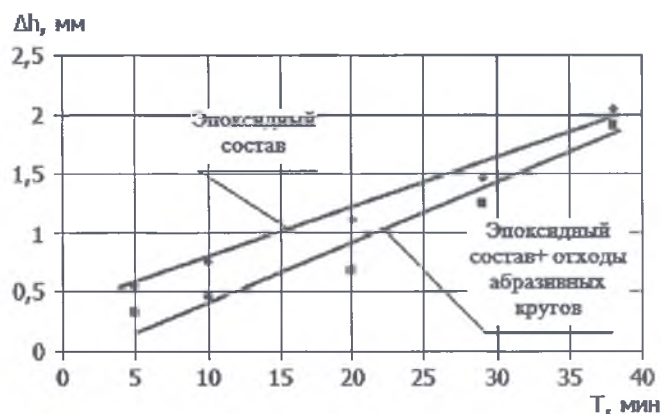


Рис. 1. Характер износа исследуемых материалов во времени при частоте вращения  $V = 1000 \text{ мин}^{-1}$

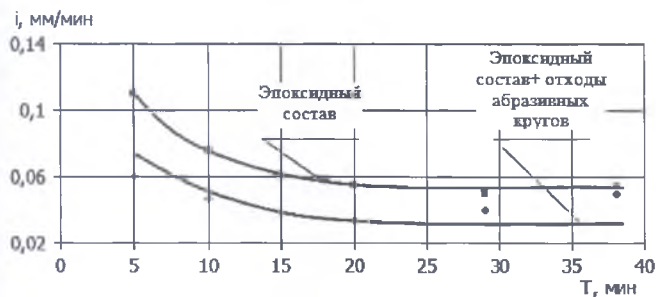


Рис. 2. Интенсивность изнашивания испытуемых образцов

изменяющийся во времени критерий (рис. 2), хотя его принято считать постоянной величиной [9]. В соответствии с графиками, в начальный период испытаний, примерно до 15 мин, интенсивность изнашивания достаточно велика, затем происходит ее стабилизация, и при дальнейшем проведении эксперимента численное значение остается фактически неизменным.

Сравнительно высокая интенсивность изнашивания в период адаптации поверхности к изнашивающей среде объясняется превалированием трения скольжения над трением качения при контактировании фракций среды с рабочей поверхностью, что приводит к ее царапанию абразивными частицами почвы и усилению степени разрушения. Немаловажную роль в сравнительно высокой интенсивности изнашивания играет относительно большое количество поверхностных несовершенств, например высокая шероховатость. Для материала с включениями абразивных отходов наряду с шероховатостью отрицательную роль играют частицы, которые выступают за пределы поверхности клеевой массы, увеличивая интенсивность изнашивания, так как их адгезионная прочность невелика, и они легко удаляются с изнашиваемой поверхности.

Фактор постоянства интенсивности изнашивания объясняется адаптацией поверхности контактирования к изнашивающей среде (эффект совместимости). В данном случае при перемещении частиц абразивной среды по материалу имеет место преобладание трения качения над трением скольжения и, как следствие, уменьшение эффекта царапания.

Продолжение испытаний приводит к полной самоорганизации процесса износа и снижению эффективности царапания, хотя полностью его не исключает. Разрушение поверхностных слоев происходит из-за высокого уровня контактных напряжений. Механизм изнашивания композита включает неравномерное по глубине истирание эпоксидной матрицы и твердых частиц. В связи с этим возрастает вероятность как износа твердых частиц, так и их удаления с поверхности ввиду снижения внутренней адгезии материала и увеличения воздействий ударных нагрузок. Таким образом, в соответствии с правилом Шарпи, при абразивном износе поверхности композита наибольшее сопротивление оказывают твердые включения, а эпоксидный состав выполняет функцию массива.

Как отмечалось выше, интенсивность износа принято считать постоянной величиной, а процессы приработки в подавляющем большинстве случаев не рассматриваются. Однако в последнее время им стали уделять серьезное внимание, так как в реальных условиях аб-

разивного изнашивания часто наблюдаются случаи, когда значение износа локальных участков детали в момент приработки столь велико, что изделия снимаются с дальнейшей эксплуатации в связи с невозможностью выполнения заданных функций [8].

Практическое значение присутствия в эпоксидной основе частиц отходов абразивных кругов, согласно проведенным испытаниям, заключается в снижении интенсивности изнашивания композита в сравнении с клеевым составом в 1,5 раза. Это подтверждают кривые на рис. 2, в соответствии с которыми интенсивность изнашивания эпоксидного состава составляет 0,055 мм/мин, а интенсивность изнашивания композита с частицами отходов абразивных кругов равна 0,035 мм/мин.

Столь резкое снижение интенсивности изнашивания композита позволяет рекомендовать его к использованию в качестве защитного материала для поверхностей деталей, эксплуатируемых в условиях абразивного изнашивания, а также в качестве ремонтного материала при их восстановлении. Например, технология устранения износов со сквозными протираниями отвалов плугов позволила увеличить их долговечность более чем в 2 раза [5].

## Выводы

1. Наличие дисперсного компонента из частиц отходов абразивных кругов в эпоксидном составе приводит к уменьшению интенсивности его изнашивания.
2. Снижение интенсивности изнашивания композита в сравнении с эпоксидной основой в 1,5 раза позволяет использовать его в качестве противоабразивной составляющей при защите и восстановлении изношенных деталей.

## Литература и источники

1. Михальченко А. М., Михальченкова М. А., Кожухова Ю. И. и др. Способ повышения ресурса плужных лемехов песчано-клеевыми композициями: Патент РФ № 2463754, 2012.
2. Михальченко А. М., Комогорцев В. Ф., Филин Ю. И. и др. Оптимизация состава ремонтной абразивостойкой дисперсно-упрочненной эпоксидной композиции с песчаным наполнителем по адгезионной прочности // Тракторы и сельхозмашины. 2015, № 8. С. 39—41.
3. Бирюлина Я. Ю., Ермакова Т. А., Михальченкова М. А. Функциональные возможности дисперсно-упрочненных композиционных материалов при ремонте машин // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. 2015, № 2, вып. 7. С. 49—54.
4. Зозуля В. Д. Применение шлифовальных металлоабразивных отходов в порошковой металлургии // Порошковая металлургия. 1988, № 3. С. 23—25.
5. Михальченко А. М., Соловьев Р. Ю., Бирюлина Я. Ю. Восстановление отвалов абразивостойким дисперсионно-упрочненным композитом на основе эпоксидной смолы // Тракторы и сельхозмашины. 2015, № 3. С. 49—51.
6. Михальченко А. М., Козарез И. В., Ковалев А. П. Способ восстановления рабочей поверхности лемеха с лучевидным износом: Патент РФ № 2464146, 2012.
7. Михальченко А. М., Лялякин В. П., Михальченкова М. А. Методика проведения сравнительных испытаний различных материалов на абразивное изнашивание // Метрология. 2014, № 9. С. 15—22.
8. Михальченко А. М., Бутарева Е. В., Михальченкова М. А. Изнашивание локальноупрочненных деталей при свободном перемещении в абразивной среде (на примере плужного ле-

межа) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014, № 3. С. 39–44.

9. **Виноградов В. Н., Сорокин Г. М.** Механическое изнашивание сталей и сплавов: Учеб. пособие. М.: Недра, 1996. 364 с.

## References

1. Mikhal'chenkov A. M., Mikhal'chenkova M. A., Kozhukhova Yu. I., Kozarez I. V. *Sposob povysheniya resursa pluzhnykh lemekhov peschano-kleevymi kompozitsiyami* [A method for increasing the service life of ploughshares with the use of sand-adhesive compositions]. Patent RF, no. 2463754, 2012.
2. Mikhal'chenkov A. M., Komogortsev V. F., Filin Yu. I., Mikhal'chenkova M. A. Optimization of formulation of repair abrasion-resistant dispersion-strengthened epoxy composition with sand filler on the adhesion strength. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2015, no. 8, pp. 39–41 (in Russ.).
3. Biryulina Ya. Yu., Ermakova T. A., Mikhal'chenkova M. A. The functionality of dispersion-strengthened composite materials for the repair of machinery. *Byulleten' nauchnykh rabot Bryanskogo filiala MIIT*, 2015, no. 2, iss. 7, pp. 49–54 (in Russ.).

4. Zozulya V. D. Application of abrasive grinding metal waste in powder metallurgy. *Poroshkovaya metallurgiya*, 1988, no. 3, pp. 23–25 (in Russ.).

5. Mikhal'chenkov A. M., Solov'ev R. Yu., Biryulina Ya. Yu. Restoring of moldboards by abrasion-resistant dispersion-strengthened composite based on epoxy resin. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2015, no. 3, pp. 49–51 (in Russ.).

6. Mikhal'chenkov A. M., Kozarez I. V., Kovalev A. P. *Sposob vosstanovleniya rabochey poverkhnosti lemekha s luchevidnym iznosom* [A method for restoring the working surface of ploughshare with ray-shaped wear]. Patent RF, no. 2464146, 2012.

7. Mikhal'chenkov A. M., Lyalyakin V. P., Mikhal'chenkova M. A. A method for comparative abrasion tests of different materials. *Metrologiya*, 2014, no. 9, pp. 15–22 (in Russ.).

8. Mikhal'chenkov A. M., Butareva E. V., Mikhal'chenkova M. A. Wear of locally reinforced parts in free movement in the abrasive media (on the example of ploughshare). *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2014, no. 3, pp. 39–44 (in Russ.).

9. Vinogradov V. N., Sorokin G. M. *Mekhanicheskoe iznashivanie staley i splavov* [Mechanical wear of steels and alloys]. Moscow, Nedra Publ., 1996, 364 p.

УДК 631.3:004.12

## Качество сельскохозяйственной техники и контроль при ее производстве и ремонте

## Quality of agricultural machinery and control of its manufacture and repair

**О. А. ЛЕОНОВ**, д-р техн. наук  
**Г. И. БОНДАРЕВА**, д-р техн. наук  
**Н. Ж. ШКАРУБА**, канд. техн. наук  
**Ю. Г. ВЕРГАЗОВА**, инж.

**Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия, msau.l@ya.ru**

**O. A. LEONOV**, DSc in Engineering  
**G. I. BONDAREVA**, DSc in Engineering  
**N. Zh. SHKARUBA**, PhD in Engineering  
**Yu. G. VERGAZOVA**, Engineer

**Russian State Agrarian University — Moscow  
K. A. Timiryazev Agricultural Academy, Moscow,  
Russia, msau.l@ya.ru**

Рассмотрены факторы, влияющие на качество изготовления и ремонта сельхозтехники, с позиции применения одного из новейших методов анализа качества — "принципа 5М": men (люди), methods (методы), materials (сырье и материалы), machines (оборудование), measures (измерения). Определено, что по всем пяти показателям отечественная сельхозтехника значительно отстает от зарубежной. Основные причины — применение дешевого сырья и материалов, отсутствие современного высокоточного технологического оборудования, высококвалифицированных и высокооплачиваемых работников, архаичные методы конструирования машин, недостаточное информационное обеспечение по современным технологиям и специфике отраслевой техники, особенно в международном плане. Выделена роль контроля в формировании качества изготовления и ремонта сельхозтехники. Отмечается, что менеджер по закупкам крупного ремонтного предприятия должен прописывать в договоре на поставку входящей продукции определенный предел брака при выборочном контроле поступающей партии. Для малого предприятия сформирована простая рекомендация — выезжать на склад запасных частей с технической документацией и инструментами контроля и брать только годную продукцию завода-изготовителя или проверенные аналоги. Определены основные задачи метрологической службы на ремонтных предприятиях. Современное метрологическое обеспечение при ремонте машин — это система обеспечения качества контроля, включающая: строгое обеспечение единства измерений; выбор критических контрольных точек, подлежащих жесткому контролю; технико-экономическое обоснование выбора средств измерений по критериям минимизации затрат и потерь для контролируемых изделий; регулярные мероприятия по юстировке средств измерений, испытаний и контроля при техническом обслуживании и ремонте сельхозтехники.

**Ключевые слова:** ремонт; качество; контроль; оценка; измерения; метрологическое обеспечение.

The article considers the factors influencing on the quality of manufacture and repair of agricultural machinery from the perspective of application of one of the newest methods of the quality analysis known as Principle of 5 M — men, methods, materials, machines, measures. It is defined that in all five indices the domestic agricultural machinery considerably lags behind the foreign one. The main reasons are the use of cheap raw materials, the lack of modern processing equipment with high precision, the lack of highly skilled and highly paid workers, the designing of machines by means of archaic methods, the small degree of information support on modern technologies and specifics of branch machinery, especially internationally. The role of control in formation of quality of manufacture and repair of agricultural machinery is highlighted. The purchasing manager of a large repair enterprise has to provide in the contract for delivery of incoming production the conditions on the presence of a defined limit of defects with selective check of incoming consignment. For a small enterprise, there is the simple recommendation to take a technical documentation and instruments of control along when going on a warehouse for spares, and to buy only good products of manufacturer or well-established similar products. The main objectives of metrological service in repair enterprises are defined. Modern metrological provision during machine repair is the system ensuring the quality of control that includes: the strict ensuring unity of