
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕХАНИКА.
ДИАГНОСТИКА ИСПЫТАНИЯ**

УДК 620.178.162

**ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ ЭПОКСИДНОГО СОСТАВА
В НЕЗАКРЕПЛЕННОМ АБРАЗИВЕ
ПРИ НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**© 2022 г. А. М. Михальченков¹, И. Н. Кравченко^{2,*}, С. А. Феськов¹, М. В. Семьшев¹,
С. А. Величко³, О. В. Бармина², Е. В. Байдакова¹¹*Брянский государственный аграрный университет,
с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область, Россия*²*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия*³*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
Саранск, Мордовия, Россия***e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru*

Поступила в редакцию 25.04.2022 г.

После доработки 15.05.2022 г.

Принята к публикации 21.06.2022 г.

В статье установлена зависимость абразивного износа при незначительных ударных воздействиях в функции времени испытаний, которая имеет прямолинейный характер. Изменение интенсивности износа во времени соответствует эффекту самоорганизации процесса изнашивания.

Ключевые слова: износ, интенсивность изнашивания, незакрепленный абразив, ускоренные испытания, время изнашивания, самоорганизация износа

DOI: 10.31857/S0235711922050108

Использование эпоксидных составов привело к созданию технологий, оказавших значительное влияние на развитие различных отраслей промышленности [1–3]. Материалы на основе эпоксидных смол имеют важное значение при использовании их в виде защитных покрытий рабочих поверхностей. В то же время в отношении поведения таких составов при абразивном изнашивании высокой интенсивности с незначительными ударными воздействиями сведения немногочисленны, отрывочны и порой противоречивы [4, 5], что сдерживает применение этих полимерных самотвердеющих материалов и композитов на их основе.

Поэтому проведение исследований на изнашивание необходимо, т.к. использование композиционных покрытий с различными наполнителями и составом открывают более широкие перспективы в области повышения долговечности деталей, эксплуатирующихся в абразивной среде [6, 7].

Постановка задачи. Необходимо выявить влияние скорости перемещения образца из эпоксидного состава на интенсивность изнашивания и определить минимально возможное время испытаний в заданной абразивной среде с обеспечением достоверности опытных данных при проведении ускоренных испытаний. Исследовался характер износа Δh и интенсивность изнашивания i во времени T при различных скоростях V перемещения образца; изменение i в функции, а также влияние скорости перемещения на время испытаний.



Рис. 1. Общий вид испытательного устройства: 1 – образец со сформированными покрытиями; 2 – абразивный материал; 3 – емкость; 4 – станина станка; 5 – шпиндель станка; 6 – оправка.

Материалы и методика испытаний. При проведении исследований применялся состав из эпоксидной смолы ЭД-20 (100 частей) и полиэтиленполиамин (отвердитель) (7 частей) [8, 9]. Абразивной средой служила смесь из строительного песка и гранитной крошки в процентном соотношении 70/30. Средние размеры частиц песка 0.21 мм; гранитных включений – 9.2 мм. Выбор изнашивающей субстанции основывался на факте наличия гравиевидных включений в грунтах. Объем абразивной среды находящийся в емкости, представляющей собой усеченный конус, составил 0.02 м³. Испытания проводились на установке собственной конструкции (рис. 1), где на обойме 1 формируются образцы одинакового состава с целью обеспечения достоверности испытаний. При этом соблюдается идентичность испытаний для всех четырех образцов в любой момент времени. Перемещение обоймы задается вращением при помощи сверлильного станка с различными числами оборотов n : 500 мин⁻¹; 710 мин⁻¹; 1000 мин⁻¹. Опытным путем можно установить частоту вращения образцов, обеспечивающую минимальное время проведения испытаний. Контроль износа осуществлялся известным методом “лунок”.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Как следует из полученных графиков (рис. 2), нарастание износа происходит по прямой для всех n , т.е. характер его протекания примерно одинаков независимо от изменения скорости перемещения обоймы. Подобное явление отмечалось в работе [10] и подтверждено теоретически. Однако проведенные ранее исследования относятся к апробации на металлических сплавах и осуществлялись как реальный эксперимент непосредственно в полевых условиях. Полученные зависимости указывают на общность процессов износа в абразивной среде, как для металлических сплавов, так и для полимеров. Хотя изнашивание подчиняется единому закону ($\Delta h = kT$), коэффициент k может регламентироваться различными факторами (скоростью перемещения тела, абразивностью среды, состоянием изучае-

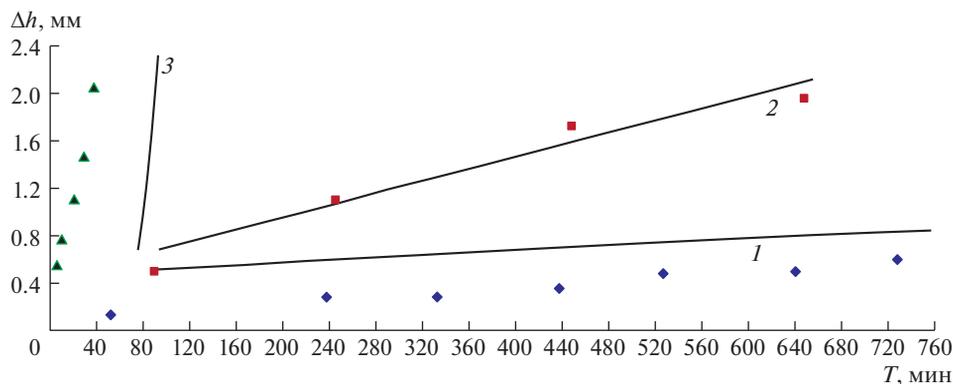


Рис. 2. Характер износа эпоксидного компаунда во времени при различных скоростях перемещения опытных образцов: 1 – $n = 500 \text{ мин}^{-1}$; 2 – $n = 710 \text{ мин}^{-1}$; 3 – $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$.

мого материала), либо их совокупностью. В рассматриваемом эксперименте составы изнашивающей среды и опытного полимера оставались постоянными; изменялась только скорость перемещения исследуемого тела.

Увеличение n приводит к сокращению T . Время испытаний, равное 640 мин, обеспечивает износы 0.45 мм и около 2.0 мм для числа оборотов 500 мин^{-1} и 710 мин^{-1} соответственно. В свою очередь при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ $\Delta h = 2 \text{ мм}$ достигается в течение 40 минут. Величину Δh , составляющую 2 мм при 500 мин^{-1} , можно получить за чрезмерно большой промежуток времени, что никак не укладывается в понятие “ускоренные испытания”.

Построение графика зависимости времени испытаний от числа оборотов для износа $\Delta h = 0.6$ показывает резкое снижение T в диапазоне $n = 500\text{--}800 \text{ мин}^{-1}$, затем процесс износа можно считать стационарным (установившимся), малозависящим от изменения скорости перемещения (рис. 3). Износ в 0.6 мм выбирался исходя из реальных условий испытаний – при $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ эта величина достигает максимального значения, дальнейшее же проведение испытаний с таким n теряет целесообразность. Кроме того, при этом Δh во всех случаях имеет место окончание приработки.

Таким образом, проведение ускоренных испытаний для подобной изнашивающей среды определяется числом оборотов образца 1000 мин^{-1} и временем проведения, составляющим 20 минут.

Показателем, более полно характеризующим изнашивание, является его интенсивность i , т.к. не зависит от параметров испытаний в конкретных условиях. Характер кривых имеет две ярко выраженные области (рис. 4).

Первая область 1 – область приработки образца и вторая 2 – истирание образца при фактически полной совместимости абразивной среды и поверхности испытываемого тела. Принято считать i величиной постоянной и процессы приработки, как правило, не анализируются. Однако в последнее время на них стали обращать серьезное внимание, т.к. в реальных условиях абразивного изнашивания часто наблюдаются случаи, когда значение износа в момент приработки бывает столь велико, что изделия снимаются с дальнейшей эксплуатации.

Минимальная i присуща самой низкой скорости перемещения из применяемых в эксперименте ($n = 500 \text{ мин}^{-1}$), максимальная для $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$. Причем скорость на-

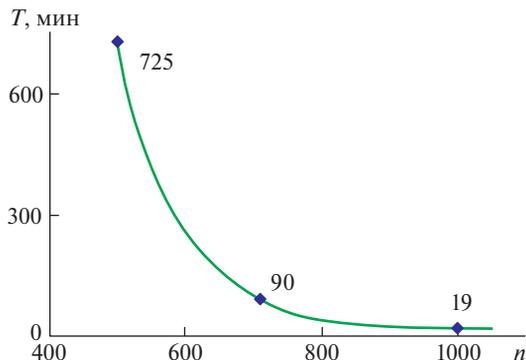


Рис. 3. Зависимость времени испытаний от числа оборотов при глубине лунки $\Delta h = 0.6$ мм.

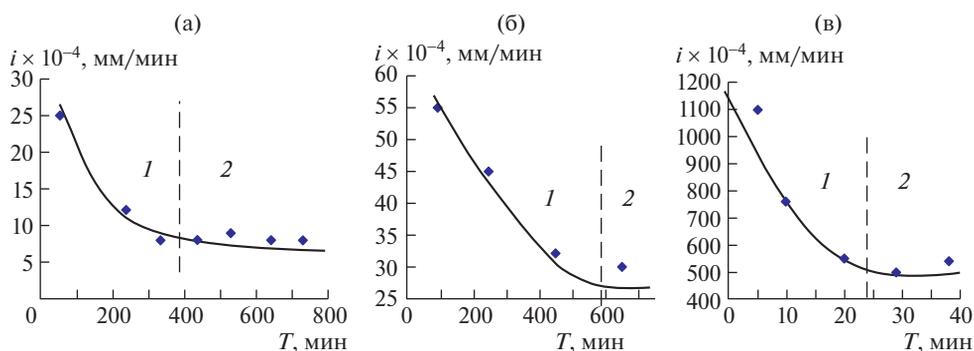


Рис. 4. Интенсивность изнашивания эпоксидного компаунда во времени для скоростей перемещения опытного образца: (а) – $n = 500 \text{ мин}^{-1}$; (б) – $n = 710 \text{ мин}^{-1}$; (в) – $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$.

растания интенсивности изнашивания при увеличении n происходит асимптотически (рис. 5).

Следует полагать, что рост скорости будет непропорционально влиять на ударные воздействия абразивных частиц, силу удара и частоту бомбардировки поверхности составляющими абразивной массы.

Резкое нарастание интенсивности изнашивания (рис. 5) связано с тем, что силовое воздействие на поверхность абразивных включений происходит по экспоненциальной зависимости.

Рост ударных нагрузок приводит к резкому увеличению контактных напряжений и разрушению поверхностного слоя. Нужно заметить, что механизм разрушения для полимеров будет иным, чем у металлических материалов.

Исходя из анализа опытных данных [11], следует, что интенсивность изнашивания эпоксидного компаунда во времени при различных скоростях перемещения изменяется по единой схеме: приработка и последующая стабилизация. $P_{\text{ост}} = f(n)$ происходит по экспоненциальному закону. Следуя графику (рис. 5), оптимальной частотой вращения является диапазон $750\text{--}850 \text{ мин}^{-1}$ (границы обозначены штриховкой). При этом увеличение n больше установленных значений приводит к излишнему влиянию ударных воздействий, искажая картину изнашивания.

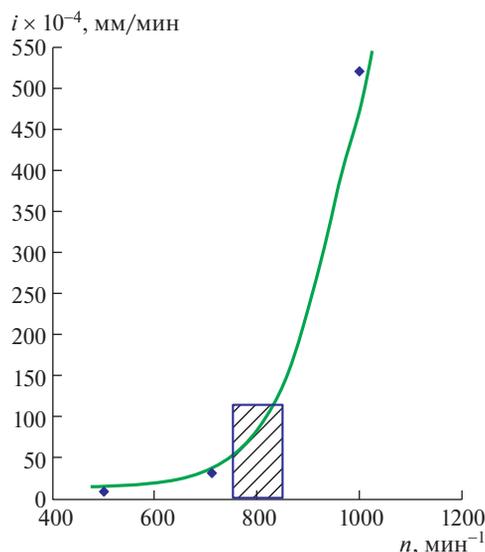


Рис. 5. Нарастание интенсивности изнашивания от числа оборотов.

Выводы. 1. Изменение износа в функции времени носит прямолинейный характер независимо от скорости перемещения испытательного образца. 2. Интенсивность изнашивания изменяется по схеме “приработка—стабилизация” с падением i в начальный период испытаний и независимо от частоты вращения экспериментального тела. 3. Оптимальная скорость перемещения образца при ускоренных испытаниях составляет $750\text{--}850 \text{ мин}^{-1}$, время проведения 40 минут.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chen Yanyan, Khudoberdin N.I., Maung P.P., Malysheva G.V.* A method of evaluating the curing kinetics of epoxy-binder-based polymer composite materials // *Polymer Science. Series D.* 2020. V. 13. № 2. P. 164.
2. *Kosenko E., Zorin V., Bairova N.* Recognition of underframe corrosion of automobile bodies using infrared thermography methods // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019. ICMTME.* P. 022012.
3. *Belous I.N., Shapovalov V.F., Malyavko G.P., Prosyannikov E.V., Yagovenko G.L.* The effectiveness of chemicals in the cultivation of winter rye on soil contaminated by radiation // *Amazonia Investiga.* 2019. V. 8. № 23. P. 759.
4. *Mikhailchenkov A.M., Biryulina Y.Y.* Construction for wear tests of abrasion-resistant adhesive composite materials // *Polymer Science. Series D.* 2017. V. 10. № 2. P. 150.
5. *Mikhailchenkov A.M., Kozarez I.V., Tyureva A.A., Kuzmin V.N.* Procedure for comparative accelerated testing of materials for resistance to abrasive wear as they move in a loose abrasive environment // *Polymer Science. Series D.* 2018. V. 11. № 1. P. 110.

6. *Kononenko A.S., Solovyeva A.A., Komogortsev V.F.* Theoretical determination of the minimum thickness of a polymer layer providing ensured protection of a shaft–bearing joint from fretting corrosion // *Polymer Science. Series D.* 2020. V. 13. № 1. P. 45.
7. *Mikhailchenkov A.M., Lyalyakin V.P., Solovev R.Y.* Effect of welding methods on the magnitude of residual stresses in welding up cracks in grey cast iron casing components // *Welding International.* 2018. V. 32. № 1. P. 67.
8. *Кравченко И.Н., Клименко А.А., Ерофеев М.Н.* РФ Патент 2527787, 2014.
9. *Михальченков А.М., Тюрева А.А., Козарез И.В.* Технология ремонта машин. Курсовое проектирование. СПб.: Лань, 2020. 232 с.
10. *Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Титов Н.В., Петровский Д.И., Багринцев О.О.* Исследование износостойкости композитных покрытий, полученных при карбовибродуговом упрочнении // *Технология металлов.* 2019. № 9. С. 36.
11. *Михальченков А.М., Бирюлина Я.Ю., Михальченкова М.А.* Интенсивность изнашивания покрытия из шламо-эпоксидной абразивостойкой композиции от скорости его перемещения // *Материаловедение.* 2016. № 8. С. 36.