

А. А. Ищенко /д. т. н./, Д. Л. Какарека

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина
e-mail:domenus91@gmail.com

Исследование механических свойств композитного материала в условиях действия ударных нагрузок

А. А. Ishchenko /Dr. Sci. (Tech.)/, D. L. Kakareka Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine
e-mail:domenus91@gmail.com

Investigation of mechanical properties of composite material under conditions of impact of shock loads

Цель. Исследование действия ударных нагрузок на композитный материал используемого при ремонте оборудования.

Методика. Нанесение композитного материала различными технологиями и воздействие на них ударными нагрузками.

Результаты. Проведено исследование демпфирующей способности полимерного материала при различных технологиях нанесения.

Научная новизна. Применение современного композитного материала при ремонте оборудования, работающего в условиях действия ударных нагрузок.

Практическая значимость. В результате проведенного анализа было выявлено влияние различной технологии на демпфирующую способность композитного материала. (Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.)

Ключевые слова: оборудование, способ восстановления, ударная нагрузка.

Введение. В настоящее время в практике ремонта и восстановления промышленного оборудования получает всё большее распространение применение металлополимерных материалов, поскольку это позволяет значительно сократить время ремонта. Однако применение этих материалов ограничивалось восстановлением узлов и машин, работающих в щадящих условиях эксплуатации без ударных и вибрационных нагрузок, поскольку их несущая способность при динамических нагрузках мало изучена.

Постановка задачи. Поскольку металлургическое оборудование работает в непрерывном режиме и его простой приводит к снижению выпуска готовой продукции, на ремонты отводят минимальное количество времени – это ведет к поиску новых методов и материалов, необходимых для ремонта оборудования. Однако применение композитных материалов ограничивалось восстановлением узлов и машин, работающих в щадящих условиях эксплуатации без ударных и вибрационных нагрузок. Иные условия сопровождают работу оборудования, эксплуатируемого в тяжелейших условиях воздействия на основные узлы вибрационных ударных нагрузок. Как следствие такого воздействия – преждевременный

выход из строя чаще всего подшипниковых узлов машин. Разрушение подшипников, происходящее, прежде всего, из-за динамического характера их нагружения, сопровождается выходом из строя вала, на котором эти подшипники установлены, и посадочных мест под подшипник.

Анализ результатов. Проблема защиты и восстановления деталей металлургического оборудования интересовала специалистов всегда. Одна из проблем по восстановлению подшипниковых гнезд описана в литературе [1–4], для определения максимального давления в подшипниковом гнезде решается задача контактирования подшипника с поверхностью подшипникового узла. Задача о внутреннем контактировании под нагрузкой двух круговых цилиндров с малой разностью их радиусов кривизны была решена И. Я. Штаерманом [1], в предположении касания круга с круговым вырезом в бесконечной упорной плоскости. Это решение основывается на зависимости радиальных упругих перемещений от сосредоточенной силы для круга и для бесконечного упругого тела с круговым цилиндрическим вырезом, полученной С. П. Тимошенко. В работе В. М. Александрова и др. решена задача для кольцевого слоя малой толщины. Однако

физическая модель для восстановленного подшипникового гнезда с помощью композитного материала может быть представлена аналогично той, которая использовалась в работе А. А. Старосельским и А. Б. Клейнером, где предпринята попытка с помощью метода, описанного в данной работе, получить картину распределения давлений в металлополимерном слое материала в восстановленном корпусе подшипника качения, разработать инженерный метод расчёта, учитывающий конструктивные параметры. Однако в литературе не приведены никакие рекомендации по методу восстановления подшипниковых гнезд и определения ударной нагрузки.

В последние годы все большее применение в практике ремонта различного вида оборудования получают металлополимеры. Металлополимеры – это пластические массы с металлическим порошкообразным или волокнистым наполнителем. В качестве связующего для этих материалов используют термопластические полимеры – полиэтилен, полипропилен, полиамиды, политетрафторэтилен (фторопласт), поливинилхлорид и др., а также терморезистивные – фенолоформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганический др. Наполнителями являются порошки, волокна, ленты, получаемые из любых металлов или сплавов, металлизированные порошки и волокна. Кроме наполнителя и полимерного связующего, в состав металлополимерных композиций могут входить металлические, минеральные и органические компоненты, стабилизаторы, пигменты и красители, пластификаторы, поверхностно активные вещества. Тип и количество указанных добавок определяются химической природой полимерного связующего.

Однако применение этих материалов ограничивалось восстановлением узлов и машин, работающих в щадящих условиях эксплуатации без ударных и вибрационных нагрузок. Иные условия сопровождают работу оборудования, эксплуатируемого в карьерах и связанного с операциями измельчения, дробления гранита, при тяжелейших условиях воздействия на основные узлы вибрационных и ударных нагрузок. Как следствие такого воздействия – преждевременный выход из строя чаще всего подшипниковых узлов машин. Разрушение подшипников, происходящее прежде всего из-за динамического характера их нагружения, сопровождается выходом из строя вала и посадочного места, в котором эти подшипники установлены, вследствие износа и деформации посадочных шеек под подшипниками.

Целью данной работы является исследование и анализ демфирующих способностей в подшипниковых узлах, восстановленных при помощи металлополимерных материалов.

Исследования нагружения подшипниковой опоры выполнялись в лаборатории кафедры «Механического оборудования заводов черной металлургии» (МОЗЧМ) Приазовского государственного технического университета на специально спроектированной и доработанной установке, позволяющей замерять ударные ускорения в восстановленном подшипниковом узле. Кинематическая схема данной установки представлена на рис. 1.

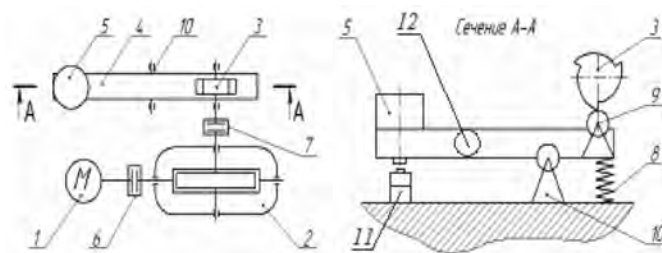


Рис. 1. Кинематическая схема ударной установки

Ударная установка состоит из консольной балки 4 (поперечное сечение швеллер), приводимой в колебательное движение с помощью кулачка 3. Кулачок контактирует с закрепленным на балке роликом 9. Балка качается на опорах 10. На одном плече балки закреплен ролик 9, на втором – груз 5. Кулачок приводится во вращение с помощью электродвигателя 1, через червячный редуктор 2, моторную муфту 6 и коренную муфту 7 типа МУВП. На конце балки крепится необходимый груз 5. Кроме того, в установке введено силовое замыкание кулачка в виде пружины 8. Во время работы установки удар воспринимает образец 11, а величину фиксируют при помощи акселерометра 12. Сама ударная установка смонтирована на станине, которая представляет собой массивный стальной сляб размерами 1210 × 500 × 250 мм. Техническая характеристика установки приведена в табл. 1.

Таблица 1

Техническая характеристика ударной установки

Наименование показателя	Единица измерения	Величина
1. Частота колебаний консольной балки	Мин ⁻¹	114
2. Диапазон грузов, прикрепленных к балке	Кг	До 20
3. Тип электродвигателя		4А71В2
4. Номинальная частота вращения вала	Мин ⁻¹	1500
5. Номинальная мощность	КВт	2
6. Тип редуктора		РЧУ-63
7. Передаточное число		40

Испытание образцов производилось в специальном приспособлении для испытания, принципиальная схема которого изображена на рис. 2.

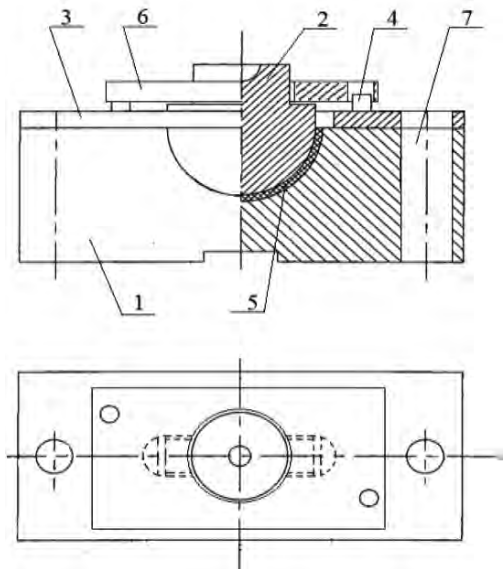


Рис. 2. Схема приспособления для замера деформации в подшипниковом гнезде

Приспособление состоит из основания 1, бойка 2, являющегося моделью наружного кольца подшипника, который центрируется в отверстии проделанном в центрирующей планке 3. Центрирующая планка центрируется штифтами 4, прижимной планкой 6 и прижимается с помощью болтов. В основании 1, проделаны отверстия 7 для закрепления на фундаменте, основание является моделью восстанавливаемого подшипникового гнезда, проделан паз и заложен полимерный ремонтный материал 5 «Мультиметалл-сталь 1018». Ударные ускорения фиксируются с помощью акселерометра, который установлен на ударной установке. Во время испытаний для определения ускорения груза во время удара использовался

Техническая характеристика Multimetal

Показатель	Сталь	
	P	F1
Предел прочности на сжатие, МПа	160	156
Предел прочности при растяжении, МПа	76	76,6
Предел прочности при изгибе, МПа	89	87
Ударная вязкость, н/мм ²	5,2	5,0
Термостойкость С ⁰		
Кратковременное	-32...+350	
Длительное	-32...+200	
Удельный вес г/см ²	2,1	2,1
Время выработки, мин	60	60
Легкая нагрузка, после час	5-6	5-6
Полная нагрузка, после час	24	24
Усадка после отвердевания	0,004	0,005
Срок хранения, год	2	2

характеристики используемых материалов приведены в табл. 2.

Клей для металлов «У» (Diamant Metallkleber У) представляет собой двухкомпонентную пастообразную массу. Отвердевание может происходить как в холодном, так и в горячем состоянии. Клеящая пленка образуется в результате химической реакции и обеспечивает прочное соединение с упругими свойствами. Она стойкая к колебаниям температуры. Клей «У» превосходно склеивает разные металлы между собой. Кроме этого, клеит металлы к пластмассам, а также стекло, фарфор, камнеподобные материалы, бетон и дерево. Технические характеристики представлены ниже:

Пропорции компонентов	100:80 в весовых единицах или 1:1 в объемных единицах
Термостойкость	-20 - +150 °С
Предел прочности при растяжении-срезе	3 - 3,5 кгс/мм - при горячем отвердевании и 1,7 - 2,3 кгс/мм - при холодном отвердевании
Химическая стойкость	стойкий к маслам, бензинам, антифризу, частично к алькоголю, бензолу, растворам соли
Время отвердевания	при 150 °С - 15-20 мин, при 80°С - 2-3 часа, при 20 °С - 24 часа
Норма расхода	100-150 г/м2 - при одностороннем нанесении
Удельный вес смеси	приблизительно 1,08 г/см

инерционный датчик фирмы Analog Device (США) типа AD XL 150AQC.

В ходе эксперимента были испытаны материалы, при помощи которых производят восстановление подшипниковых узлов. К таким материала относятся: композитный материал Multimetal и У-клей. Так как в подшипниковом узле возникают динамические нагрузки, в данном эксперименте определялось восприятие ударных нагрузок, восстановленным материалом. Технические харак-

Также нужно отметить, что в серии экспериментов были изучены способы восстановления опор под подшипником. Первый способ заключался в свободном размещении слоя металлополимерного материала в восстановленной опоре, к которому можно применить данную методику, считая его состояние плосконапряженным. Результаты эксперимента представлены на графике рис. 3.

При проведении экспериментов выполнялись замеры величин ускорения бойка во время удара,

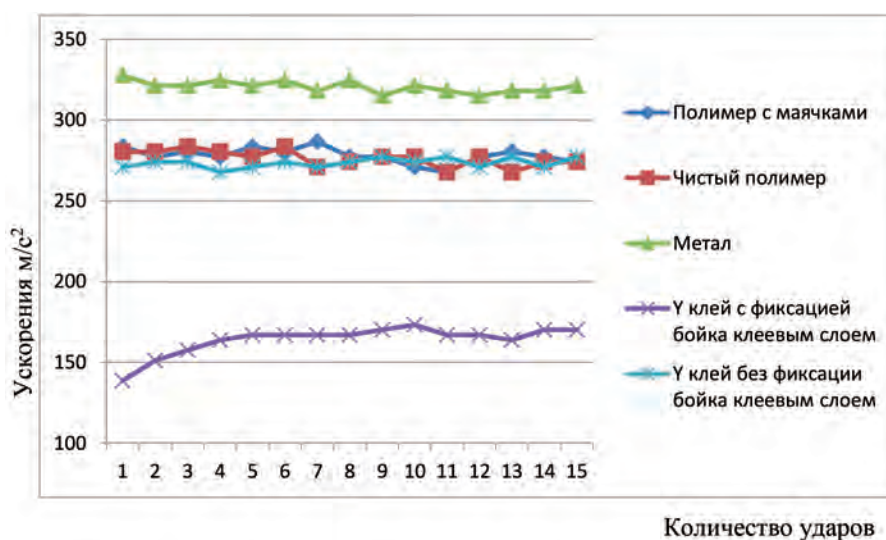


Рис. 3. Значения изменения максимальных ударных ускорений в процессе выполнения 15 ударов

и по его величине оценивались способность полимерного слоя компенсировать динамическую нагрузку за счет упругих свойств слоя композитного материала. Для этого были реализованы следующие варианты восстановления опорной поверхности с помощью полимера в сравнение с восстановленной поверхностью традиционными способами, то есть наплавление и последующая механическая обработка:

- опорная поверхность, восстановленная материалом Multimetal слоем толщиной 2,0 мм.
- опорная поверхность содержит два «маячка», определяющих проектное положение подшипника и восстановленных материалом Multimetal слоем толщиной 2,0 мм.
- опорная поверхность, восстановленная материалом У-клея слоем толщиной 0,5 мм.
- опорная поверхность, восстановленная материалом У-клея (слой 0,5 мм) и соединённая этим клеем с бойком (слой 0,25 мм).

На рис. 3 представлены полученные величины ускорений для 15 проведённых ударов при приведённых выше вариантах восстановления опорной поверхности. Представленные на рисунке результаты позволяют констатировать, что наиболее жесткая система контакта бойка с металлом дает наибольшую величину нагрузки на опорную поверхность в случае восстановления ее традиционным способом. Применение композитного материала, как видно из рис. 3, снижает величину ускорения в среднем на 15 % независимо от применения опорных маячков или их отсутствия. Применение же материала У-клея в варианте при вклеивании бойка к опорной поверхности позволяют существенно снизить величину ускорений практически на 50 %, в то время как наличие лишь слоя У-клея, без фиксации бойка У-клеем, приводит к тем же результатам, что и применение полимерного слоя из Multimetal.

Полученные результаты позволяют сделать ряд заключений о целесообразности использования полимерных материалов в технологии восстановления опорных поверхностей под подшипниками качения. Прежде всего применение композитного материала позволяет выполнять восстановление опорных поверхностей в крупногабаритных машинах на месте их эксплуатации без демонтажа. И это большое преимущество перед традиционной технологией в условиях, когда демонтаж оборудования и его восстановление в механическом цехе не вписывается во временные рамки текущего ремонта металлургического цеха, работающего в непрерывном режиме. В то же время применение разделительных составов, позволяющих исключить клеевое соединение подшипника с восстановленным слоем, лишь незначительно (15 %) снижает ударные нагрузки, воспринимаемые опорной поверхностью, и говорить в этом случае о существенном улучшении условий эксплуатации самого подшипника и о снижении вероятности его выхода из строя по причине ударных нагрузок не приходится.

Совершенно другой результат может дать фиксация нагруженного кольца подшипника в гнезде с помощью У-клея при восстановлении опорной поверхности композитным материалом. Неподвижное соединение наружного кольца с опорной поверхностью при жесткой фиксации относительно композитного материала, но без создания дополнительных напряжений в наружном кольце подшипника, имеет преимущества по сравнению с нефиксированным наружным кольцом, которое может перемещаться в пределах микрозазоров и будет иметь точку приложения на него нагрузки. Это, безусловно, отрицательный фактор, но не определяющий долговечность подшипника, поскольку величина ударной нагрузки снижается почти в 2 раза, и лишь промышленные экспери-

менты могут дать окончательный ответ о преобладании того или иного фактора определяющего срок службы подшипника.

Выводы. Экспериментально установлено, что проблема продления срока службы подшипников, работающих в условиях действия значительных ударных нагрузок, может быть решена путем фиксации наружного кольца подшипника композитным материалом, что позволит практически в 2 раза снизить величину восприимчивости наружного кольца подшипника при ударе.

Библиографический список / References

1. Штаерман И. Я. Контактная задача упругости / И. Я. Штаерман. – М.: Гостехтеориздат, 1949. – 295 с.

Shtaerman I. Ya. *Kontaktna zadacha epruhosti*. Moscow, Hostekhteoryzdat Publ. 1949, 295 p.

2. Ищенко А. А. Исследование механических характеристик металлополимерных материалов, применяемых при ремонтах металлургических машин / А. А. Ищенко // Металлургия и горнорудная промышленность. – 2006. – № 4. – С. 107–110.

Ishchenko A. A. *Issledovanye mekhanycheskykh kharakterystyk metallopolymernykh materialiv, pry-menyayemykh pry remontu metalurhiynykh mashyn*. Metallurhicheskaya i hornorudnaya promyshlennost'. 2006, no. 4, pp. 107-110.

3. Ищенко А. А. Ремонт деталей и узлов энергетического оборудования композитными мате-

риалами / А. А. Ищенко, Е. В. Дашко // ПГТУ Мариуполь. – 2016. – С. 131–134.

Ishchenko A. A., Dashko Ye. V. *Remont detaley ta vuzliv enerhetychnoho obladnannya z kompozytnymy materialamy*. PHTU Maryupol'. 2016, pp. 131-134.

4. Ищенко А. А. Новые технологии ремонта оборудования металлополимерными материалами / А. А. Ищенко // Тяжелое машиностроение. – 1999. – № 2. – С. 32–34.

Ishchenko A. A. *Novye tekhnologii remonta oborudovaniya metallopolimernymi materialami*. Tyazheloe mashinostroenie. 1999, no. 2, pp. 32-34.

Purpose. The study of the impact of shock loads on the composite material used in the repair of equipment.

Methodology. Application of composite material by various technologies and impact on them by shock loads.

Findings. The damping ability of a polymer material for various deposition technologies was studied.

Originality. The use of modern composite material for the repair of equipment operating under shock loads.

Practical value. As a result of the performed analysis, the influence of different technologies on the damping capacity of the composite material was revealed.

Key words: equipment, recovery method, impact load.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. А. Д. Учителем**

Поступила 28.07.2017

