



УДК 621.762.669.2

## РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



### DEVELOPMENT OF COMPOSITION MATERIALS FOR FRICTION UNITS FOR BOREHOLE PUMPING UNITS OF OIL AND GAS INDUSTRY

**Калашников Игорь Евгеньевич**

доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт металлургии  
и материаловедения имени А.А. Байкова РАН  
kalash2605@mail.ru

**Михеев Роман Сергеевич**

доктор технических наук, профессор,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
mikheev.roman@mail.ru

**Кобелева Любовь Ивановна**

кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт металлургии  
и материаловедения имени А.А. Байкова РАН  
likob@mail.ru

**Быков Павел Андреевич**

научный сотрудник,  
Институт металлургии  
и материаловедения имени А.А. Байкова РАН  
pavel\_imet@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования поведения композиционных материалов системы АК12М2MgN-TiC и АК12М2MgN-SiC при сухом трении скольжения, и в условиях, имитирующих реальные режимы эксплуатации деталей. Проведено лабораторное сравнение триботехнических свойств и износостойкости втулок радиальных подшипников из представленных КМ для электрических центробежных насосов.

**Ключевые слова:** электрические центробежные насосы, композиционные материалы, алюминиевые сплавы, коэффициент трения, интенсивность изнашивания.

**Kalashnikov Igor Evgenevich**

Doctor of Technical Sciences,  
leading researcher,  
Baikov Institute of Metallurgy  
and Material Science RAS  
kalash2605@mail.ru

**Mikheev Roman Sergeevic**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Bauman Moscow State Technical University  
mikheev.roman@mail.ru

**Kobeleva Lubov Ivanovna**

Ph.D., leading researcher,  
Baikov Institute of Metallurgy  
and Material Science RAS  
likob@mail.ru

**Bykov Pavel Andreevich**

Researcher,  
Baikov Institute of Metallurgy  
and Material Science RAS  
pavel\_imet@mail.ru

**Annotation.** This paper presents the results of a study of the behavior of composite materials of the AK12M2MgN-TiC and AK12M2MgN-SiC systems under dry sliding friction, and under conditions that simulate real operating modes of parts. A laboratory comparison of tribotechnical properties and wear resistance of bushings of radial bearing from the presented CM for electric centrifugal pumps was carried out.

**Keywords:** electric centrifugal pumps, composite materials, aluminum alloys, friction coefficient, wear rate.

**К**омпозиционные материалы (КМ) представляют значительный интерес для нефтяной промышленности в технике для добычи и транспортировки нефти и газа, а именно в рабочих парах подшипников погружных штанговых и центробежных скважинных насосных установок. Надежность работы современных электрических центробежных насосов (ЭЦН) во многом определяется надежностью и ресурсом работы радиальных подшипников. Применяемые в настоящее время для вкладышей подшипников спеченные твердые сплавы на основе карбида вольфрама обладают высокой износостойкостью, теплопроводностью, низким коэффициентом трения, но имеют высокую стоимость. Учитывая значительные объемы производства ЭЦН, остро стоит вопрос снижения стоимости комплектов, в том числе и радиальных подшипников, путем использования менее дорогостоящих материалов, но без потери эксплуатационной надежности оборудования.

Перспективными антифрикционными материалами для изготовления вкладышей подшипников являются КМ на основе алюминиевых сплавов. Такие КМ обладают высоким пределом выносливости, хорошей задиростойкостью, достаточной прочностью и теплопроводностью, дешевизной и



технологичностью [1]. Высокопрочные армирующие частицы, входящие в состав КМ, позволяют применять сплавы алюминия для деталей, работающих в условиях полужидкого и сухого трения. Для монометаллических подшипников, используемых в транспортном и общем машиностроении, применяется алюминиевые сплавы, содержащие легирующие добавки цветных металлов (Ni, Ti и др.).

Дополнительно повысить прочность и твердость и, как следствие, повысить износостойкость материала можно путем введения в сплавы наполнителей различной природы [2–4]. Известно, что армирующие наполнители с резко отличной от матрицы твердостью не только повышают износостойкость КМ, но выполняя роль поддерживающих опор, снижают коэффициенты трения в широком диапазоне параметров нагружения.

Среди высокопрочных армирующих наполнителей, таких как карбиды, нитриды, оксиды, бориды, находит широкое применение и интерметаллидные соединения. Так, при упрочнении интерметаллидными добавками пластичных сплавов алюминия удалось повысить их износостойкость и механические свойства [5].

Как правило, армирующие интерметаллидные наполнители формируются в процессе литья из компонентов расплава и реакционноактивных легирующих добавок [6]. В этом случае повышаются физико-механические свойства сплава, вследствие малого рассогласования кристаллических решеток сплава и интерметаллидных фаз. Химические реакции формируют в матрице равновесные армирующие фазы, термодинамически стабильные, не имеющие загрязнений на поверхности. Другим способом повышения механических и функциональных свойств матричных сплавов является их армирование предварительно синтезированными интерметаллидными соединениями, обладающими необходимым комплексом физико-механических свойств.

Проводили испытания полученных КМ на основе сплава АК12М2МгН (ГОСТ 1583-93) в качестве деталей трибоузлов ЭЦН.

Радиальные пары состояли из втулок подшипника, изготовленных из литых КМ систем Al-SiC и Al-TiC с интерметаллидным упрочнением и полиармированием в присутствии наноразмерных модификаторов и защитных втулок из твердого сплава ВК8 (82 % – WC, 8 % – Co).

Для оценки триботехнических свойств литых образцов из матричного сплава и КМ на его основе проводили испытания на трение и износ. Для оценки влияния доли наполнителя на триботехнические свойства КМ изготавливали образцы с 5 и 10 мас. % содержанием армирующих частиц SiC и TiC и модифицированных 0,25 мас. % частиц TiCN размером 30 нм.

Натурные испытания проводили в среде – имитате пластовой жидкости, в зависимости от нагрузки и состава среды при удельном радиальном давлении 0,1 МПа и скорости скольжения 5 м/с. (табл. 1).

**Таблица 1** – Параметры стендовых испытаний

№	Среда (имитат пластовой жидкости)	Длительность испытаний, мин
1	Раствор (30 % СОЖ + 70 % H <sub>2</sub> O) + 10 г/л Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> с подачей сжатого воздуха	360
2	100 % H <sub>2</sub> O	120
3	100 % H <sub>2</sub> O с подачей сжатого воздуха	60

Проведенные исследования показывают, что дисперсно-наполненные КМ на основе сплавов алюминия, содержащие в качестве наполнителя частицы TiC, обладают лучшими триботехническими свойствами (меньшими значениями коэффициента трения, интенсивности и коэффициента изнашивания, и большими значениями коэффициента стабильности) по сравнению с КМ, упрочненными частицами SiC.

Детали, изготовленные из разработанных КМ, обладают достаточной несущей способностью для использования этих материалов в реальных трибосопряжениях, например, в качестве радиальных подшипников в электрических центробежных насосах для добычи нефти.

## Литература

1. Калашников И.Е. Развитие методов армирования и модифицирования структуры алюмоматричных композиционных материалов: дисс. ... доктора технических наук / Институт металлургии и материаловедения РАН. – М., 2011.
2. Панфилов А.В., Бранчуков Д.Н., Панфилов А.А., Панфилов А.А., Петрунин А.В., Чернышова Т.А., Калашников И.Е., Кобелева Л.И., Болотова Л.К. Литой композиционный материал на основе алюминиевого сплава и способ его получения : Патент на изобретение RU 2323991 С1, 10.05.2008. – Заявка № 2006133845/02 от 22.09.2006.
3. Михеев Р.С. Разработка композиционных материалов системы Al-Ti-TiC / Р.С. Михеев, И.Е. Калашников, Л.И. Кобелева, Т.А. Чернышова // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – № 3. – С. 85–90



4. Чернышова Т.А. Получение алюмоматричных композиционных материалов с наноразмерными модификаторами методами жидкофазного совмещения / Т.А. Чернышова, И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Л.И. Кобелева // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 1. – С. 85-90.
5. Калашников И.Е. Структура литых алюмоматричных композиционных материалов, армированных интерметаллидными фазами и наноразмерными тугоплавкими порошками / И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Т.А. Чернышова // Цветные металлы. – 2010. – № 9. – С. 67–71.
6. Чернышова Т.А. Трибологические свойства литых алюмоматричных композитов, модифицированных нанопорошками / Т.А. Чернышова, И.Е. Калашников, Л.К. Болотова // Metallurgy of mechanical engineering. – 2010. – № 2. – С. 21–26.

## References

1. Kalashnikov I.E. Development of methods for reinforcing and modifying the structure of aluminum-matrix composite materials: Dissertation ... doctor of technical Sciences / Institute of metallurgy and materials science of the Russian Academy of Sciences. – M., 2011.
2. Panfilov A.V., Branchukov D.N., Panfilov A.A., Panfilov A.A., Petrulin A.V., Chernyshova T.A., Kalashnikov I.E., Kobleva L.I., Bolotova L.K. Cast composite material based on an aluminum alloy and a method for producing it : Patent for the invention RU 2323991 C1, 10.05.2008. – Application № 2006133845/02 dated 22.09.2006.
3. Mikheev R.S. Development of composite materials of the Al-Ti-TiC system / R.S. Mikheev, I.E. Kalashnikov, L.I. Kobleva, T.A. Chernyshova // Physics and chemistry of materials processing. – 2009. – №. 3. – P. 85–90.
4. Chernyshova T.A. Getting alumomatrix composites with nanoscale modifiers in the liquid-phase methods of combining / T.A. Chernyshova, I.E. Kalashnikov, L.K. Bolotova, L.I. Kobleva // Physics and chemistry of materials processing. – 2006. – №. 1. – P. 85–90.
5. Kalashnikov I.E., Structure for producing cast alumomatrix composite materials reinforced by intermetallic phases and nanosized refractory powders / I.E. Kalashnikov, L.K. Bolotova, T.A. Chernyshova // Non-ferrous metals. – 2010. – №. 9. – P. 67–71.
6. Chernyshova T.A. Tribological properties of cast alumo-matrix composites modified with nanopowders / T.A. Chernyshova, I.E. Kalashnikov, L.K. Bolotova // Metallurgy of mechanical engineering. – 2010. – №. 2. – P. 21–26.