

Триботехнические свойства антифрикционных покрытий на основе композиционных материалов

**Р. С. Михеев, Н. В. Коберник, И. Е. Калашников,
Л. К. Болотова, Л. И. Кобелева**

Результаты испытаний на трение и износ композиционных антифрикционных покрытий на основе алюминиевого сплава, армированного дисперсными высокопрочными керамическими частицами микронного размера, сопоставлены с данными, полученными при аналогичных испытаниях покрытий из баббита, содержащих углеродные нанотрубки (УНТ). Показано, что введение армирующих частиц в виде карбида кремния или УНТ в матричные сплавы соответственно на основе алюминия или баббита стабилизирует процесс сухого трения скольжения и способствует улучшению их трибологических характеристик.

Ключевые слова: дисперсно-наполненные композиционные материалы, антифрикционные покрытия, углеродные нанотрубки, дуговая наплавка.

Введение

С трением связана одна из самых острых проблем современности — износ машин и механизмов. Выход из строя деталей и рабочих частей машин при нормальных условиях эксплуатации редко является следствием их недостаточной прочности или чрезмерной ползучести материалов. Наиболее распространенной причиной выхода большинства деталей машин и механизмов из строя (85–90 %) является не поломка, а повреждение рабочих органов вследствие износа подвижных сопряжений или трибосопряжений. Поэтому в настоящее время остро стоит вопрос о снижении энергозатрат на трение, повышении долговечности и надежности трибосопряжений [1]. В этой связи особую актуальность приобретают работы по созданию принципиально новых износостойких антифрикционных материалов.

Разработанные в последние годы гетерофазные материалы, в том числе композиционные материалы (КМ), представляют наибольший интерес в качестве материалов для трибосопряжений [2–4]. В настоящее время разработка КМ, в которых объединены высокопластичные металлические матрицы и тугоплавкие высокопрочные, высокомодульные наполнители, для трибосопряжений еще не вышла из

стадии накопления эмпирических данных. Однако, даже небольшой опыт промышленных испытаний новых антифрикционных КМ в трибосопряжениях различных видов техники свидетельствует об их высокой эксплуатационной надежности [3–7]. Главным преимуществом КМ является возможность сконструировать материал в соответствии с требуемыми свойствами, которыми не обладает ни один классический материал. Причем в отличие от традиционных изотропных материалов функционально армированные или градиентные композиционные материалы характеризуются наличием пространственно-неоднородных структур, благодаря которым они приобретают новые свойства и функции, позволяющие расширить области их применения [2, 3, 8]. Функциональное армирование целесообразно и с экономической точки зрения, поскольку исключает затраты на изготовление объемных изделий, обладающих свойствами, предъявляемыми исключительно к поверхностному слою, и позволяет уменьшить стоимость изделия на 30 % [9]. Особенно востребовано функциональное армирование в изделиях, подвергаемых интенсивному изнашиванию, или работающих в агрессивных средах, когда свойства поверхностного слоя определяют работу механизмов в целом [8, 9]. Среди методов получения таких

материалов наибольший практический интерес представляют процессы наплавки и напыления, поскольку их широкие возможности позволяют наряду с изготовлением готовых изделий осуществлять ремонт в процессе их эксплуатации.

В настоящее время для этих целей активно проводят исследования сплавов на основе алюминия или баббита в качестве матриц для КМ, а в качестве наполнителей — керамических частиц (SiC, TiC и др.) микронного размера или углеродных нанотрубок (УНТ) [3 – 5, 7, 10]. В зависимости от эксплуатационных требований к покрытию (максимальная износостойкость или минимальный коэффициент трения) возникает необходимость выбора состава антифрикционного слоя и технологии его нанесения, обеспечивающих качественное формирование и достижение требуемых характеристик.

Цель настоящей работы — сопоставление результатов испытаний на трение и износ антифрикционных покрытий, полученных методами дуговой наплавки, из композиционных материалов на основе алюминия армированных карбидом кремния, а также баббита, содержащего УНТ.

Материалы и методы исследования

Сопоставление результатов испытаний на трение и износ проводили на покрытии из баббита SnSb8Cu4, широко применяемом в промышленности, в сравнении с композиционными покрытиями: SnSb8Cu4 + 0,25 масс.% УНТ; АК12М2МгН + 5 масс.% SiC; АК12М2МгН + 10 масс.% SiC. Покрытия были сформированы методами аргонодуговой и плазменной наплавки, технология нанесения и составы покрытий подложки выбраны по результатам ранее проведенных исследований [10, 11]:

— аргонодуговую наплавку проводили на подложку из алюминиевого сплава АМг3 (3,2–3,8 масс.% Mg) по ГОСТ 4784-97 толщиной 5 мм;

— плазменную наплавку проводили на пластины из низкоуглеродистой стали Ст3сп по ГОСТ 380-2005 толщиной 8 мм. Технология нанесения и материал подложки не оказывали влияния на результаты измерений триботехнических характеристик (износостойкости и коэффициента трения), поскольку испытания на трение и износ проводили на поверхностном слое исследуемого покрытия.

При нанесении покрытий из КМ методом аргонодуговой наплавки в качестве присадочного материала применяли разработанные литые композиционные прутки на основе литейного алюминиевого сплава АК12М2МгН (в масс. %: 10 – 13 Si, 1,5 – 3,0 Cu, 0,3 – 0,6 Mn, 0,85 – 1,35 Mg, 0,3 – 1,3 Ni) по

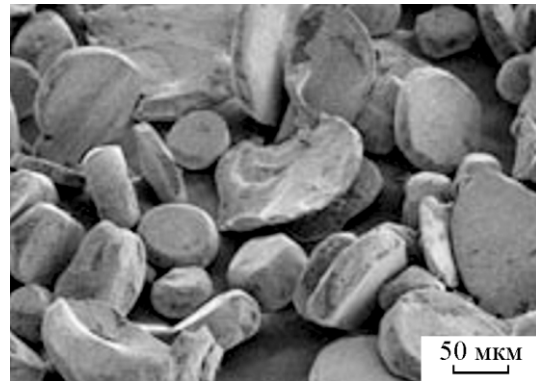


Рис. 1. Присадочный материал для плазменной наплавки.

ГОСТ 1583-93, армированные частицами SiC, имеющими в исходном состоянии скользящую огранку [12]. Средний размер частиц составлял 14 мкм, в то время как массовая доля частиц в прутках не превышала 10 %, что обеспечивало качественное формирование наплавленного валика [13].

Для получения покрытий методом плазменной наплавки в качестве присадочного материала применяли разработанные композиционные гранулы (рис. 1) на основе баббита марки SnSb8Cu4 (в масс. %: Sn — основа, 7,8 Sb, 3,8 Cu) по ИСО 4381-91, содержащие УНТ в количестве 0,25 масс. % [10].

Полученные покрытия испытывали на трение и износ без смазки на универсальной машине трения МТУ-01 (ТУ 4271-001-29034600-2004) по схеме “втупка по диску” при удельных нагрузках от 0,2 до 0,7 МПа и скорости скольжения 0,39 м/с. Размеры втупки из стали 45 по ГОСТ 1050-88: внутренний диаметр — 12 мм, наружный диаметр — 16 мм. Испытываемый образец диаметром 40 мм и толщиной 6 мм с нанесенным покрытием был неподвижен. Первый этап трибонагружения длительностью 15 мин при удельной нагрузке 0,2 МПа и скорости скольжения 0,39 м/с считали приработочным. Последующие этапы трибонагружения имели длительность 10 мин. Выбранные параметры трибологических испытаний (нагрузка, скорость скольжения) находятся в диапазоне реальных параметров трибонагружения конструкций из КМ, что позволяет сравнивать триботехнические характеристики КМ с их зарубежными аналогами [3, 14].

В процессе испытания регистрировали момент трения, при помощи тензодатчика с записью на цифровой носитель. Изменение массы Δm определяли путем взвешивания образцов на аналитических весах до и после испытания с точностью $\pm 0,5 \cdot 10^{-3}$ г.

В связи с тем, что в отличие от баббита SnSb8Cu4, обладающего наименьшими значениями коэффи-

циента трения среди металлических сплавов, литейный алюминиевый сплав АК12М2МгН не применяется в промышленности как антифрикционный, результаты испытаний на трение и износ композиционных покрытий сопоставляли с полученными результатами для покрытий из баббита. Поведение образцов при сухом трении скольжения оценивали по нормализованному коэффициенту трения (f_{KM}/f_B , где f_{KM} — коэффициент трения наплавленного композиционного покрытия, f_B — коэффициент трения покрытия из баббита), величине объемной интенсивности изнашивания (I_v) и коэффициента стабильности процесса трения ($\alpha_{ст}$), значения которых определяли по формулам [15, 16]:

$$I_v = \frac{\Delta m}{\rho L},$$

$$f = \frac{M}{R_{cp} F},$$

$$\alpha_{ст} = \frac{f_{cp}}{f_{max}},$$

где ρ — плотность образца, г/мм³; L — путь трения, м; M — момент трения, Н·м; R_{cp} — средний радиус контртела, мм; F — приложенная осевая нагрузка, Н; f_{cp} — средний коэффициент трения; f_{max} — максимальный коэффициент трения.

Результаты и обсуждение

Типичные диаграммы изменения моментов трения, полученные в процессе испытаний на сухое трение скольжения при максимальной удельной нагрузке 0,7 МПа наплавленных антифрикционных покрытий разного состава, представлены на рис. 2. Видно, что введение в баббит наполнителя в виде УНТ стабилизирует процесс сухого трения скольжения и способствует снижению величин моментов трения (сравнить рис. 2а и 2б). Процесс сухого трения скольжения композиционных покрытий на основе алюминиевого сплава характеризуется большей устойчивостью (меньшим разбросом значений момента трения) по сравнению с покрытиями из баббита (сравнить рис. 2а, 2б и 2в, 2г). Причем увеличение доли наполнителя в наплавленном слое также оказывает положительное влияние на стабильность процесса сухого трения скольжения (сравнить рис. 2в и 2г).

На рис. 3 и 4 сопоставлены триботехнические характеристики сформированных покрытий разного состава. Нормализованные коэффициенты трения или отношения коэффициентов трения наплавленных

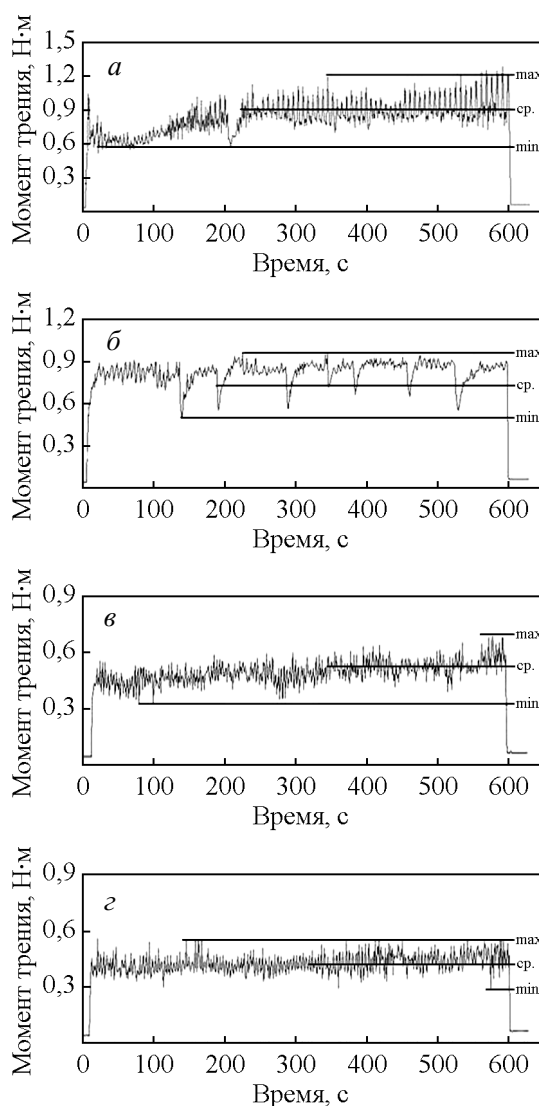


Рис. 2. Типичные диаграммы изменения моментов трения при испытании на сухое трение скольжение под нагрузкой 0,7 МПа наплавленных покрытий состава: а — SnSb8Cu4; б — KM — SnSb8Cu4 + 0,25 масс. % УНТ; в — KM — АК12М2МгН + 5 масс. % SiC; г — KM — АК12М2МгН + 10 масс. % SiC.

композиционных покрытий и покрытия из баббита приведены на рис. 3. Видно, что введение УНТ в наплавленное покрытие на основе баббита уменьшает величину коэффициента трения на 15 – 25 %. Причем с увеличением осевой нагрузки различия в значениях коэффициентов трения снижаются, что может быть связано с недостаточным уровнем прочности межфазной связи между УНТ и матрицей. Наплавленные алюмоматричные композиционные покрытия характеризуются значениями коэффициентов трения в 1,5 – 2 раза превышающими значения коэффициентов трения для покрытий на

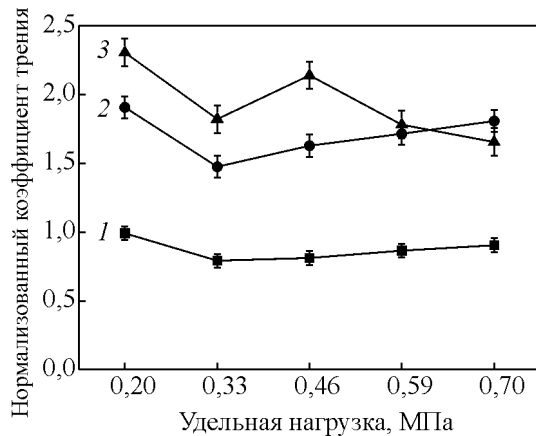


Рис. 3. Нормализованный коэффициент трения наплавленных слоев КМ составов: 1 – SnSb8Cu4 + 0,25 масс.% УНТ; 2 – АК12М2МгН + 5 масс. % SiC; 3 – АК12М2МгН + 10 масс.% SiC.

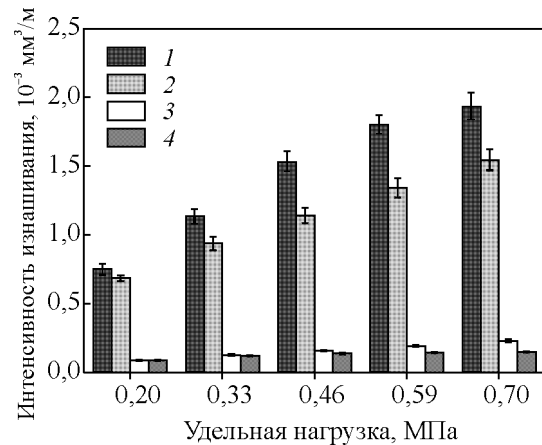


Рис. 4. Интенсивность изнашивания наплавленных слоев составов: 1 – SnSb8Cu4; 2 – КМ – SnSb8Cu4 + 0,25 масс. % УНТ; 3 – КМ – АК12М2МгН + 5 масс. % SiC; 4 – КМ – АК12М2МгН + 10 масс. % SiC.

основе баббита. Увеличение массовой доли наполнителя (частиц SiC) с 5 до 10 масс. % повышает коэффициент трения наплавленного слоя при малых осевых нагрузках. Однако при удельных нагрузках более 0,59 МПа различия в значениях коэффициента трения между сформированными композиционными покрытиями с разной долей армирующих частиц сводятся к минимуму. Это можно также отнести к влиянию переходного слоя, присутствующего на контактирующих поверхностях, представляющего собой механическую смесь из материалов испытываемого образца и контртела, а также их оксидов, который и обеспечивает низкие значения коэффициентов трения [17, 18].

Значения интенсивности изнашивания наплавленных покрытий, представлены на рис. 4. Видно, что увеличение удельной нагрузки приводит к повышению интенсивности изнашивания всех образцов. Однако во всем интервале трибонагружения образцов характерные признаки задира, основными из которых являются типичный рельеф на поверхности трения и рост массы контртела, зафиксированы не были.

Наименьшей износостойкостью обладают покрытия из баббита, в то время как введение в их состав

УНТ повышает износостойкость на величину от 10 до 25 %, что особенно заметно при удельных нагрузках более 0,46 МПа. Увеличение доли армирования с 5 до 10 масс. % в алюмоматричных композиционных покрытиях повышает износостойкость на величину до 30 % при максимальной удельной нагрузке (0,7 МПа). Наплавленные композиционные покрытия на основе алюминиевого сплава имеют значения интенсивности изнашивания в 10 и 8 раз меньше по сравнению с значениями интенсивности изнашивания для наплавленных покрытий из баббита и КМ на его основе. Следует также отметить, что общая тенденция повышения износостойкости композиционных покрытий по сравнению с покрытиями их баббита сохраняется по мере роста величины удельной нагрузки во всем диапазоне трибонагружения.

Сформированные покрытия обладают коэффициентами стабильности процесса трения близкими к единице (табл. 1). Однако наличие в их составе армирующих частиц обеспечивает повышение коэффициента стабильности, что свидетельствует об устойчивом характере сухого трения скольжения.

Проведенные исследования свидетельствуют о большой перспективности применения компози-

Таблица 1

Коэффициенты стабильности процесса сухого трения скольжения наплавленных покрытий в зависимости от удельной нагрузки

Состав наплавленных покрытий, масс. %	Коэффициент стабильности $\alpha_{ст}$ в зависимости от удельной нагрузки P , МПа				
	0,2	0,33	0,46	0,59	0,7
SnSb8Cu4	0,87	0,84	0,80	0,82	0,83
SnSb8Cu4 + 0,25 УНТ	0,95	0,88	0,84	0,91	0,87
AK12M2MgH + 5 SiC	0,87	0,82	0,9	0,83	0,80
AK12M2MgH + 10 SiC	0,87	0,97	0,95	0,84	0,86

ционных покрытий для улучшения эксплуатационных характеристик трибоузлов машин и механизмов за счет повышения износостойкости и снижения коэффициента трения. Таким образом, в зависимости от эксплуатационных требований к трибоузлу, работающему в исследованном диапазоне удельных нагрузок, можно рекомендовать применение композиционных покрытий на основе алюминиевого сплава, армированного высокопрочными керамическими частицами, для увеличения износостойкости в 8 – 10 раз, или на основе баббита, содержащие в качестве наполнителя УНТ, для снижения коэффициента трения на 15 – 25%.

Выводы

1. Показано, что введение армирующих частиц в виде карбида кремния или УНТ соответственно на наплавленные покрытия на основе алюминиевого сплава или баббита стабилизирует процесс сухого трения скольжения и способствует улучшению ряда трибологических характеристик.

2. Установлено, что наличие УНТ в наплавленном покрытии из баббита уменьшает величину коэффициента трения на 15 – 25 %, в то время как сформированные композиционные покрытия на основе алюминиевого сплава характеризуются значениями коэффициентов трения в 1,5 – 2,0 раза превышающими значения коэффициентов трения для покрытий из баббита.

3. Определено, что присутствие УНТ в сформированном покрытии из баббита повышает его износостойкость на величину от 10 до 25 %, что особенно заметно при удельных нагрузках более 0,46 МПа. Наплавленные композиционные покрытия на основе алюминиевого сплава имеют значения интенсивности изнашивания на порядок меньше по сравнению со значениями интенсивности изнашивания для сформированных покрытий из баббита.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-2553.2013.8.

Литература

1. Ксеневиц И.П. Триботехника и проблемы прикладной механики наземных мобильных машин. Приводная техника, 2003, № 5, с. 2 – 5.
2. Suresh S., Mortensen A. Fundamentals of functionally graded materials: Processing and thermomechanical behavior of graded materials and metal-ceramic composites. London: IOM Communications Ltd, 1998. 325 p.
3. Михеев Р.С., Чернышова Т.А. Алюмоматричные композиционные материалы с карбидным упрочнением

для решения задач новой техники. М.: Маска, 2013, 356 с.

4. Чернышова Т.А., Панфилов А.В., Панфилов А.А. Применение алюмоматричных композиционных материалов в узлах трения промышленного оборудования и транспортной техники. Заготовительные производства в машиностроении, 2006, № 5, с. 38 – 43.
5. Chernyshova T.A., Mikheev R.S., Kalashnikov I.E., Akimov I.V., Kharlamov E.I. Development and testing of Al – SiC and Al – TiC composite materials for application in friction units of oil-production equipment. Inorganic materials: Applied research, 2011, v. 2, no. 3, p. 322 – 329.
6. Dasgupta R. Aluminium alloy-based metal matrix composites: a potential material for wear resistant application. International Scholarly Research Network ISRN Metallurgy, 2012, v. 2012, Article ID 594573, p. 1 – 14.
7. Михеев Р.С., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И. Триботехнические свойства дисперсно-наполненных композиционных материалов Al – TiC. Материаловедение, 2011, № 1, с. 14 – 22.
8. Miyamoto Y. Functionally graded materials: Design, processing and applications. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1999, 330 p.
9. Kevorkijan V. Functionally graded aluminium-matrix composites. American Ceramic Society Bulletin, 2003, v. 82, no. 2, p. 33 – 37.
10. Коберник Н.В., Чернышов Г.Г., Гвоздев П.П., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Ваганов В.Е. Антифрикционные свойства покрытий, полученных плазменной наплавкой баббита с углеродными нанотрубками. Сварка и диагностика, 2013, № 3, с. 27 – 31.
11. Коберник Н.В., Чернышов Г.Г., Михеев Р.С., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И. Аргонодуговая наплавка износостойких композиционных покрытий. Физика и химия обработки материалов, 2009, № 1, с. 51 – 55.
12. Михеев Р.С., Коберник Н.В., Чернышов Г.Г., Чернышова Т.А., Панфилов А.В., Панфилов А.А., Панфилов А.А., Петрунин А.В. Прутки из алюмоматричного композиционного материала для наплавки износостойких композиционных покрытий Патент РФ 2361710, МПК В 23 К 35/28, С 22 С 21/00. заявл. 12.02.2008 ; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20, 4 с.
13. Михеев Р.С., Коберник Н.В., Чернышов Г.Г. Влияние состава присадочных композиционных материалов на жидкотекучесть сварочной ванны. Сварка и диагностика, 2012, № 6, с. 11 – 15.
14. Shipway P.H., Kennedy A.R., Wilkes A.J. Sliding wear behavior of aluminium-based metal matrix composites produced by a novel liquid route. Wear, 1998, no. 216, p. 160 – 171.
15. Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003, 576 с.
16. Пенкин Н.С., Пенкин А.Н., Сербин В.М. Основы трибологии и триботехники. М.: Машиностроение, 2008, 206 с.
17. Biswas S.K. Some mechanisms of tribofilm formation in metal/metal and ceramic/metal sliding interaction. Wear, 2000, no. 1 – 2, p. 178 – 189.

18. Sato H., Murase T., Fujii T., Onaka S., Watanabe Y., Kato M. Formation of wear-induced layer with nanocrystalline structure in Al – Al₃Ti functionally graded material. *Acta Materialia*, 2008, no. 17, p. 4549 – 4558.

References

1. Xenevich I.P. Tribotekhnika i problemi prikladnoi mehaniki nazemnih mobilnih mashin. [Science in tribology and problems of applied mechanics terrestrial mobile machines]. *Privodnaya tekhnika - Drive technology*, 2003, no. 5, pp. 2 – 5.
2. Suresh S., Mortensen A. Fundamentals of functionally graded materials: Processing and thermomechanical behavior of graded materials and metal-ceramic composites. London.: IOM Communications Ltd, 1998, 325 p.
3. Mikheev R.S., Chernyshova T.A. Alumomatrihnye kompozitsionnye materialy s karbidnim uprochneniem dlya resheniya zadach novoyi tekhniki. [Aluminum-matrix composite materials with carbide hardening for the solution of problems of new equipment]. Moscow, Mask Publ., 2013, 356 p.
4. Chernyshova T.A., Panfilov A.V., Panfilov A.A. Primenenie alumomatrichnih kompozitsionnih materialov v uzlah trenya promishlennogo oborudovaniya i transportnoi tekhniki [Application of aluminum-matrix composite materials in friction units of industrial and transport equipment]. *Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroyenii — Procuring production in mechanical engineering (in Rus)*. 2006, no. 5, pp. 38 – 43.
5. Chernyshova T.A., Mikheev R.S., Kalashnikov I.E., Akimov I.V., Kharlamov E.I. Development and testing of Al – SiC and Al – TiC composite materials for application in friction units of oil-production equipment. *Inorganic materials: Applied research*, 2011, vol. 2, no. 3, pp. 322 – 329.
6. Dasgupta R. Aluminium alloy-based metal matrix composites: a potential material for wear resistant application. *International Scholarly Research Network ISRN Metallurgy*, 2012, vol. 2012, Article ID 594573, pp. 1 – 14.
7. Mikheev P.C., Chernyshova T.A., Kobeleva L.I. Tribotekhnicheskie svoystva dispersno-napolnennih kompozitsionnih materialov Al-TiC. [Tribotechnical properties of disperse filled Al – TiC composite materials]. *Materialovedeniye — Material science (in Rus)*, 2011, no. 1, pp. 14 – 22.
8. Miyamoto Y. Functionally graded materials: Design, processing and applications. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1999, 330 p.

9. Kevorkijan V. Functionally graded aluminium-matrix composites. *American Ceramic Society Bulletin*, 2003, vol. 82, no. 2, pp. 33 – 37.
10. Kobernik N.V., Chernyshov G.G., Gvozdev P.P., Chernyshova T.A., Kobeleva L.I., Vaganov V.E. Antifrikzionnye svoystva pokritii, polutennih plazmennoy naplavkoi babbita s uglerodnimi nanotrubkami. [Antifrictional properties of the coverings received by a plasma naplavka of babbit with carbon nanotubes]. *Svarka i diagnostika — Welding and diagnostics*, 2013, no. 3, pp. 27 – 31.
11. Kobernik N.V., Chernyshov G.G., Mikheev R.S., Chernyshova T.A., Kobeleva L.I. Argonodugovaya naplavka iznosostoikih kompozitsionnih pokritiy [Arc welding of wearproof composite coverings]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov — Physics and chemistry of materials treatment (In Rus)*, 2009, no. 1, pp. 51 – 55.
12. Mikheev R. S., Kobernik N. V., Chernyshov G.G., Chernyshova T.A., Panfilov A.V., Panfilov A.A., Panfilov A.A., Petrunin A.V. Prutki iz alumomatrichnogo kompozitsionnogo materiala dlya naplavki iznosostoykikh kompozitsionnih pokritiy [Bars from aluminum-matrix composite material for surfacing of wear resistant composite coating]. *Stalemate*. 2361710 Russian Federation. MPK B 23 K 35/28, C 22 C 21/00. *Bulletin* no. 20, 4 p.
13. Mikheev R.S., Kobernik N.V., Chernyshov G.G. Vliyaniye sostava prisadochnih kompozitsionnih materialov na gidkotekuchest svarochnoy vannye [Influence of filler composite materials composition on weld pool fluidity]. *Svarka i diagnostika — Welding and diagnostics*, 2012, no. 6, pp. 11 – 15.
14. Shipway P.H., Kennedy A.R., Wilkes A.J. Sliding wear behavior of aluminium-based metal matrix composites produced by a novel liquid route. *Wear*, 1998, no. 216, pp. 160 – 171.
15. Chichinadze A.V., Berliner E.M., Brown E.D. *Trenye, iznos, smazka (tribologiya i tribotekhnika)*. [Friction, wear and greasing (tribology and tribotechnics)]. Moscow, Mechanical engineering, 2003, 576 p.
16. Penkin N. S., Penkin A.N., Serbin V. M. Osnovy tribologii i tribotekhniki [Bases of tribology and tribotechnics]. Moscow, Mechanical engineering, 2008, 206 p.
17. Biswas S.K. Some mechanisms of tribofilm formation in metal/metal and ceramic/metal sliding interaction. *Wear*, 2000, no. 1 – 2, pp. 178 – 189.
18. Sato H., Murase T., Fujii T., Onaka S., Watanabe Y., Kato M. Formation of wear-induced layer with nanocrystalline structure in Al-Al₃Ti functionally graded material. *Acta Materialia*, 2008, no. 17, pp. 4549 – 4558.

Статья поступила в редакцию 29.10.2014 г.

Михеев Роман Сергеевич — Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана” (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), кандидат технических наук, доцент, специалист в области получения соединений из новых материалов E-mail: mikheev.roman@mail.ru.

Коберник Николай Владимирович — Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана” (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), кандидат технических наук, доцент, специалист в области получения соединений из новых материалов. E-mail: koberniknv@yandex.ru.

Калашников Игорь Евгеньевич — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук (119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 49), доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, специалист в области материаловедения композиционных материалов. E-mail: kalash2605@mail.ru.

Болотова Людмила Константиновна — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук (119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 49), старший научный сотрудник, специалист в области материаловедения композиционных материалов. E-mail: l.bolotova@mail.ru.

Кобелева Любовь Ивановна — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук (119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 49), кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, специалист в области материаловедения композиционных материалов. E-mail: likob@mail.ru.

Tribotechnical properties of antifriction coatings based on composite materials

R. S. Mikheev, N. V. Kobernik, I. E. Kalashnikov, L. K. Bolotova, L. I. Kobeleva

The results of wear tests of composite antifriction coatings based on aluminum alloy reinforced with the micron sized ceramic particles, in comparison with coatings based on babbitt containing carbon nanotubes (CNT) have been discussed. It is shown that the introduction of the reinforcing particles in the form of silicon carbide or CNT into the matrix alloys based on aluminium and babbitt stabilizes the dry sliding friction process and promotes the tribological characteristics improvement.

Key words: particle-reinforced composite materials, antifriction coatings, carbon nanotubes, arc welding.

Mikheev Roman — Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, 2 Bauman st, 5), associated professor, specialist in joining of new construction materials. e-mail: mikheev.roman@mail.ru.

Kobernik Nicolay — Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, 2 Bauman st, 5), PhD, associated professor, specialist in joining of new construction materials. e-mail: koberniknv@yandex.ru.

Kalashnikov Igor — Baikov Institute of Metallurgy and Material Science RAS (119991, Moscow, Leninsky pr., 49), DrSci (Eng.), leading researcher, the science of composite materials, e-mail: kalash2605@mail.ru.

Bolotova Ludmila — Baikov Institute of Metallurgy and Material Science RAS (119991, Moscow, Leninsky pr., 49), senior researcher, the science of composite materials, e-mail: l.bolotova@mail.ru.

Kobeleva Lubov — Baikov Institute of Metallurgy and Material Science RAS (119991, Moscow, Leninsky pr., 49), PhD, Institution of Russian Academy of Sciences, leading researcher, the science of composite materials, e-mail: likob@mail.ru.
