

Д.В. Гращенков<sup>1</sup>, И.Ю. Ефимочкин<sup>1</sup>, С.Б. Ломов<sup>1</sup>, И.Е. Гончаров<sup>1</sup>

## КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СВИНЦА

*Представлен композиционный материал (КМ) системы Al–Cu–Fe, легированный бором, на основе свинца, превосходящий по прочностным свойствам полимерные антифрикционные материалы и чистый свинец, но уступающий баббиту марки БС. Однако диапазон рабочих температур у данного материала шире: при -100°C прочностные свойства КМ на основе свинца повышаются с 30 до 40 МПа.*

*В отличие от матричного материала, КМ имеет более высокую жесткость и не подвергается изгибу при соприкосновении с режущим инструментом, что позволяет изготавливать из него изделия малой номенклатуры.*

**Ключевые слова:** композиционный материал, свинец, квазикристалл системы Al–Cu–Fe.

D.V. Graschenkov<sup>1</sup>, I.Yu. Efimochkin<sup>1</sup>, S.B. Lomov<sup>1</sup>, I.E. Goncharov<sup>1</sup>

## COMPOSITE MATERIAL BASED ON PLUMBUM

*The Pb–(Al–Cu–Fe) quasi-crystal composite material, doped with boron was produced. Composite on the base of plumbum exceeds polymer antifriction materials and pure plumbum in strength properties but yield to babbit of BC type, however, the operating temperature range is wider, as compared to composite materials. The strength properties of Pb-base composite are increased from 30 to 40 MPa at – 100°C.*

*Opposite to matrix material, the composite material has higher rigidity and it's not subjected to bending when touching with cutting instruments, which allows to produce the low-listed products of it.*

**Keywords:** composite material, plumbum, Al–Cu–Fe quasi-crystal.

---

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Благодаря сочетанию высокой твердости и низкого коэффициента трения, квазикристаллы весьма перспективны для использования в композитах в качестве упрочнителей. Механические свойства и структура таких материалов исследованы в различных работах.

Например, изучалась возможность получения механохимическим сплавлением композитов на основе алюминия с квазикристаллическим наполнителем и исследовалась структура порошковых композитов [1]. Методами холодного и горячего прессования получали образцы композитов Al+квазикристалл (системы Al–Cu–Fe), исследовались их физико-механические и трибологические характеристики. В результате упрочненные композиты показали существенное увеличение износостойкости [2, 3].

Прессование порошков, содержащих наполнитель высокой твердости, не позволяет получать плотные образцы, а горячее прессование, обеспечивающее получение плотных заготовок, вызывает фазовые превращения и укрупнение структуры, препятствующие реализации полезных свойств наполнителя. Для устранения подобных препятствий нужно подобрать нейтральные друг к другу матрицу и наполнитель.

В данном случае в качестве матрицы был выбран свинец. Ему не требуется горячее прессование и горячая экструзия, квазикристаллы практически нерастворимы в

свинце вплоть до температуры плавления; свинец очень пластичный материал, а при низких температурах прочность его значительно повышается.

Фазовый состав квазикристаллического порошка контролировали рентгенофазовым методом по ММ 1.595-17-222 на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.

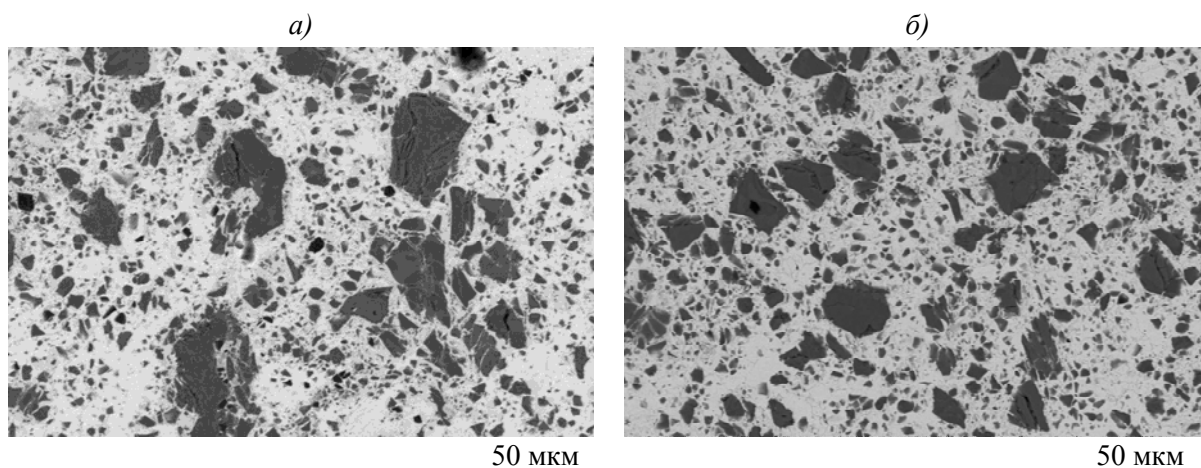
Механические испытания проводили на разрывной машине Instron 1195 (ГОСТ 11262–80).

Микроструктуру образцов исследовали методом растровой электронной микроскопии с помощью электронного микроскопа JSM-840. Подготовку образцов проводили на оборудовании металлографического центра фирмы «Struers». Образцы запрессовывали на установке Laborpress-3 в токопроводящую обойму. Для приготовления микрошлифов использовали шлифовально-полировальный станок RotoPol-21.

Для определения трибологических свойств проводили испытания на трение и износ при давлении  $P_{уд}=0,3$  МПа, скорости взаимного перемещения 0,11 м/с; контртела – образцы из стали 30ХГСА, среда – воздух.

Чистый свинец как антифрикционный материал не используется в связи со своими прочностными характеристиками. Введение квазикристаллов заметно их улучшает. Композиционный материал (КМ) свинец–квазикристалл (системы Al–Cu–Fe), допированный бором, получали по следующей схеме: смешение порошков, холодное брикетирование, экструзия при 20°C.

Микроструктуру полученного композиционного материала исследовали методом растровой электронной микроскопии. Для оценки микроструктуры образцов и равномерности распределения частиц квазикристаллов в матрице были изготовлены микрошлифы в продольном и поперечном направлениях экструзии (см. рисунок).



Микроструктура образца КМ с квазикристаллами после экструзии:

*а* – продольный шлиф; *б* – поперечный шлиф

Проведенные исследования микроструктуры образцов КМ на основе свинца, армированного квазикристаллами, показали, что микроструктура всех исследованных образцов аналогична, квазикристаллы равномерно распределены в материале основы, частицы квазикристаллов имеют глобулярную форму и сильно различаются по размеру. Практически все крупные частицы квазикристаллов имеют трещины, образовавшиеся в процессе экструзии.

Полученные образцы КМ на основе свинца сравнивали с выпускаемыми серийно баббитом и композиционным материалом Э10Н5 (см. таблицу). Данные по аналогичным материалам взяты из справочной литературы [4, 5]. Для определения физико-механических свойств были проведены испытания на растяжение при 20 и -100°C.

### Эксплуатационные свойства КМ на основе свинца

Материал	Предел прочности при растяжении, МПа	Коэффициент трения без смазки	Рабочая температура, °С
МКМ (Рб матрица)	30–40	0,11	-100÷+250
Свинец	12	–	–
БС (баббит)	40	0,007 (со смазкой)	0÷+120
Э10Н5*	9,5	0,35	0÷+300

\* Э10Н5 – композиционный материал, состоящий из эпоксидной смолы, графита и никеля.

Композиционный материал на основе свинца превосходит по прочностным свойствам полимерные антифрикционные материалы и чистый свинец, но уступает баббиту марки БС; однако диапазон рабочих температур шире у КМ, что объясняется отсутствием в его составе легкоплавких составляющих. Значения коэффициента трения у баббита марки БС и КМ на основе свинца сопоставимы и значительно ниже, чем у композиционного материала Э10Н5. При температуре -100°С прочностные свойства КМ на основе свинца заметно повышаются с 30 до 40 МПа.

Исследования обрабатываемости КМ на основе свинца показали, что в отличие от матричного материала, КМ имеет более высокую жесткость и не подвергается изгибу при соприкосновении с режущим инструментом, что позволяет изготавливать из него изделия малой номенклатуры.

Изготовление КМ на основе свинца, армированных квазикристаллами системы Al–Cu–Fe, допированных бором, осуществляется по стандартным технологиям порошковой металлургии и не оказывают дополнительно негативного влияния на окружающую среду. При этом утилизация изделий упрощена, поскольку не требуется сложного процесса извлечения керамического упрочнителя из матрицы при переплавке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tcherdyntsev V.V., Kaloshkin S.D., Shelekhov E.V. etc. Thermal Stability of Ball Milled Al/Al–Cu–Fe Quasicrystal Metal Matrix Composites //J. Metast. Nanocryst. Mater. 2004. С. 24.
2. Калошкин С.Д., Чердынцев В.В., Данилов В.Д. Механоактивационное получение квазикристаллических порошковых сплавов системы Al–Cu–Fe и материалов на их основе //Кристаллография. 2007. Т. 52. С. 21.
3. Чердынцев В.В., Калошкин С.Д., Томилин И.А. Структура и свойства механоактивированных композиционных материалов Al/квазикристалл Al–Cu–Fe //ФММ. 2007. Т. 104. С. 20.
4. Металлические порошки и порошковые материалы [Metal powders and powder materials]: Справочник /Под ред. Ю.В. Левинского. М.: ЭКОМЕТ. 2005. С. 519.
5. Полимеры в узлах трения машин и приборов: Справочник /Под общ. ред. А.В. Чичкнадзе. М. 1988. С. 570.

#### REFERENCES LIST

1. Tcherdyntsev V.V., Kaloshkin S.D., Shelekhov E.V. etc. Thermal Stability of Ball Milled Al/Al–Cu–Fe Quasicrystal Metal Matrix Composites //J. Metast. Nanocryst. Mater. 2004. С. 24.
2. Kaloshkin S.D., Cherdynceev V.V., Danilov V.D. Mehanoaktivacionnoe poluchenie kvazikristallicheskih poroshkovykh splavov sistemy Al–Cu–Fe i materialov na ih osnove [Mechanically activated getting quasicrystalline alloy powders of Al–Cu–Fe and materials on their basis]//Kristallografija. 2007. Т. 52. S. 21.
3. Cherdynceev V.V., Kaloshkin S.D., Tomilin I.A. Struktura i svojstva mehanoaktivirovannykh kompozicionnykh materialov Al/kvazikristall Al–Cu–Fe [Structure and properties of mechanically activated composite materials Al/quasicrystal Al–Cu–Fe] //FMM. 2007. Т. 104. S. 20.
4. Metallicheskie poroshki i poroshkovye materialy: Spravochnik /Pod red. Ju.V. Levinskogo. M.: JEKOMET. 2005. S. 519.

5. Polimery v uzlah trenija mashin i priborov [Polymers in friction machines and devices]: Spravochnik /Pod obshh. red. A.V. Chichknadze. M. 1988. S. 570.