

МОДИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**К.И. Шебешев**

vladisl-2013@yandex.ru

SPIN-код: 5042-1153

И.М. Иванов

dr.mgtu@yandex.ru

SPIN-код: 3387-6730

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен технологический процесс получения материала и изготовления заготовок керамических тел подшипника качения. Исследован состав порошкового керамического материала, содержащего нитрид кремния, оксид иттрия и оксид алюминия, а также спекающие добавки. С помощью методов микроанализа изучена структура керамики. Разработан технологический режим горячего прессования заготовок керамических тел качения, включающий три этапа: 1) приготовление материала в планетарной мельнице до дисперсности не более 3 мкм с последующей сушкой; 2) изготовление прессовки путем компактирования порошка шихты в стальной пресс-форме; 3) изготовление заготовок путем горячего прессования прессовок в графитовой пресс-форме.

Ключевые слова

Керамика, подшипник качения, нитрид кремния, горячее прессование, плотность, пористость, твердость

Поступила в редакцию 25.01.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Подшипник представляет собой сборочный узел, являющийся частью опоры или упора и поддерживающий вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жесткостью. Подшипники качения состоят из двух колец, тел качения и сепаратора. В таких подшипниках возникает преимущественно трение качения, что способствует снижению потерь энергии на трение и уменьшению износа.

Подшипники качения подразделяют на следующие основные типы: шариковые, роликовые цилиндрические, роликовые конические, двухрядные самоустанавливающиеся, игольчатые, упорные шариковые, упорные роликовые (ГОСТ 3722–81). Подшипники широко применяют в конструкциях электродвигателей, подъемно-транспортных и сельскохозяйственных машин, летательных аппаратов, локомотивов, вагонов, металлорежущих станков, зубчатых редукторов и многих других машин и механизмов [1, 2].

Изучение возможных материалов для изготовления подшипников и способов повышения свойств поверхностей качения [3–5] показывает, что наиболее перспективными для изготовления шариков подшипников качения являются керамические материалы [6, 7]. Анализ физико-механических свойств таких материалов позволил обнаружить, что по показателям плотности, пористости,

твердости и прочности наиболее перспективными являются керамические материалы из нитрида кремния (Si_3N_4) и карбида кремния (SiC) (ТУ 317–2004).

Нитрид кремния Si_3N_4 является единственным соединением кремния и азота и существует в двух модификациях — α - и β - Si_3N_4 . Нитрид кремния характеризуется преимущественно ковалентным типом химической связи (приблизительно на 70 %). Здесь, в отличие от соединений с ионным типом химической связи, процессы диффузионно-вязкого течения при спекании ковалентных соединений проявляются в малозначительной степени. В связи с этим обстоятельством получить высокоплотный однофазный материал из нитрида кремния методами порошковой технологии на практике достаточно сложно. Нитрид кремния с пористостью не более 0,1 % в настоящее время изготавливают путем введения в материал 8...20 % спекающих добавок, которые образуют жидкую фазу в процессе спекания (ГОСТ 473.4–81 и 24409–80).

Методика проведения эксперимента. После размолва суспензию сливали на противень, помещали в термощкаф и сушили при температуре $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 5 ч. График предварительной термической обработки керамики представлен на рис. 1.

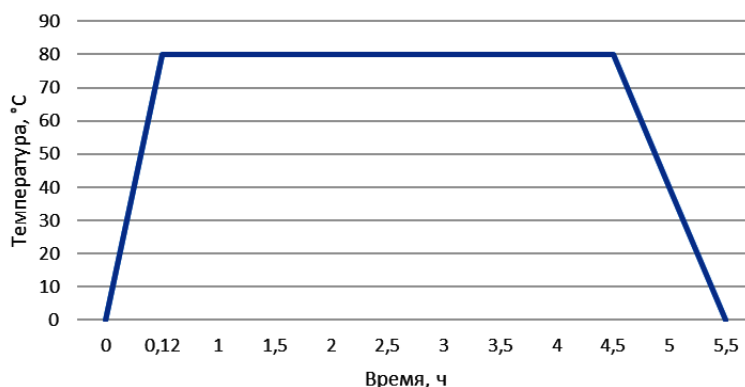


Рис. 1. График предварительной термической обработки керамики

Порошок шихты отделяли от мелющих шаров просевом через сито № 2, а затем дополнительно просеивали его через сито № 0063.

Изготовление прессовки выполняли на гидравлическом прессе PUE 25X355 путем компактирования порошка шихты в стальной цилиндрической односторонней пресс-форме диаметром 23 мм при давлении (30 ± 3) МПа в целях уменьшения усадки при спекании. Полученные прессовки визуально контролировали на отсутствие трещин, сколов, раковин.

Изготовление заготовок керамических тел качения осуществляли методом горячего прессования. Полученные прессовки помещали в 12-гнездную графитовую пресс-форму. Рабочие поверхности графитовой пресс-формы предварительно обрабатывали суспензией на основе гексагонального нитрида бора. Горячее прессование проводили на прессе КСЕ НР W 200/250-2200-180 по следующему режиму, состоящему из трех основных стадий:

1) подъем температуры до 700 °С и выдержка 20 мин при этой температуре. Нагрев и выдержка осуществляются в вакууме. На этом этапе удаляются адсорбированные газы, влага и летучие примеси;

2) в конце выдержки при температуре 700 °С в камеру пресса подается азот и прессовка нагружается давлением прессования 7 МПа. Затем осуществляется подъем температуры до (1750 ± 50) °С с выдержкой при максимальной температуре 30 мин. С подъемом температуры одновременно постепенно повышают давление прессования до 30 МПа;

3) охлаждение вместе с печью. При температуре 1200 °С с пресс-формы снимают давление. После охлаждения цилиндрические заготовки извлекают из пресс-формы, поверхность заготовок подвергают пескоструйной очистке, после чего заготовки передают на операцию контроля.

Результаты экспериментов и об- суждение. Микроструктура керамики из нитрида кремния показана на рис. 2, а результаты измерения пористости, кажущейся плотности и твердости приведены в таблице.

Микроструктура керамики характеризуется мелкозернистой матричной фазой, представленной кристаллами β-нитрида кремния призматической формы с размерами 0,5...1,0 мкм и кристаллами удлиненной призматической формы с размерами по ширине около 0,5...1,0 мкм, по длине — около 5...8 мкм.

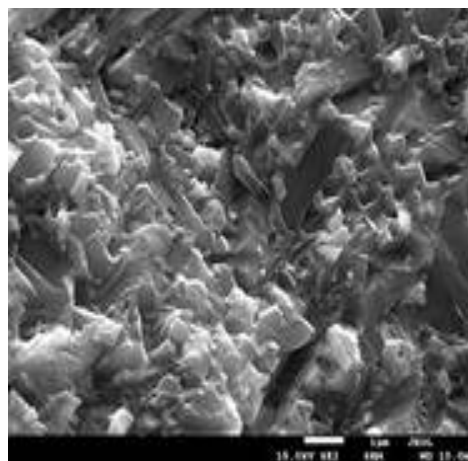


Рис. 2. Микроструктура керамики на основе нитрида кремния и спекающих добавок (x500)

Результаты испытаний образцов заготовок на основе нитрида кремния и спекающих добавок

Номер испытания	Характеристика образцов заготовок из нитрида кремния		
	Кажущаяся плотность, г/см ³	Пористость, %	Твердость при температуре 20 °С по Виккерсу, ГПа
1	3,26	0,06	15,7
2	3,23	0,08	16,1
3	3,25	0,05	15,3
Значения, заданные в техническом задании	Не более 3,3	Не более 0,1	Не менее 15

Нитрид кремния отличается исключительно высокой химической стойкостью. Нитрид кремния практически устойчив против воздействия всех кислот, многих расплавленных металлов, паров воды. Он устойчив к окислению не только на воздухе, но и в кислороде при умеренно высокой температуре.

Твердость и модуль упругости нитрида кремния более чем в 1,5 раза выше, чем аналогичные характеристики стали. Этот фактор делает подшипник жестче и увеличивает его ресурс при работе в условиях повышенного загрязнения [8–10].

Тела качения из нитрида кремния имеют меньшую степень теплового расширения, чем стальные тела качения аналогичного размера, а значит, конструкции менее чувствительны к изменению температуры внутри подшипника и способны выдерживать большие значения силы преднатяга.

Таким образом, с учетом физико-механических и электроизоляционных свойств, в качестве материала для изготовления керамических шаров, комплекствующих подшипники, целесообразно использовать нитрид кремния.

Заключение. Плотность нитрида кремния составляет всего 40 % плотности стали, поэтому тела качения весят меньше и обладают меньшей инерцией. Это способствует меньшему нагружению сепаратора в моменты резкого старта или остановки и существенно уменьшает силу трения на больших частотах, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению нагрева и увеличению срока службы смазочного материала.

Литература

- [1] Fakhurtdinov R.S., Ryzhova M.Y., Pakhomova S.A. Advantages and commercial application problems of vacuum carburization. *Polymer Science. Series D*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 79–83.
- [2] Фахуртдинов Р.С., Пахомова С.А., Рыжова М.Ю. Проблемы модернизации оборудования для вакуумной цементации. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2017, № 2, с. 113–118.
- [3] Alekseeva J.S., Fedorova L.V., Fedorov S.K., Kapustin I.N. Improving the quality of the surface layer of steel parts. *Proc. 5-th International Mechanical Engineering Forum (IMEF)*, 2012, pp. 65–74.
- [4] Федорова Л.В., Федоров С.К., Бохонов Г.Ю. Упрочняющее электромеханическое восстановление вторичного вала коробки перемены передач автомобилей семейства «Газель». *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2015, № 9, с. 14–16.
- [5] Помельникова А.С., Фетисов Г.П., Пахомова С.А. К вопросу упрочнения различных легированных сталей обработкой в коронном разряде. *Технология металлов*, 2017, № 2, с. 20–24.
- [6] Гузман И.Я., ред. *Химическая технология керамики*. Москва, Стройматериалы, 2003, 196 с.
- [7] Гаршин А.П., Горопянов В.М., Зайцев Г.П., Семенов С.С. *Керамика для машиностроения*. Москва, Научтехиздат, 2003, 384 с.
- [8] Пахомова С.А. Особенности преподавания курса «Инженерия поверхности» студентам по направлению «материаловедение и технологии материалов». *Инженерный вестник*, 2015, № 9. URL: <http://engsi.ru/doc/812901.html> (дата обращения 14.12.2017).
- [9] Пахомова С.А., Макушина М.А., Коваленко С.В. Деформационное упрочнение тяжело нагруженных поверхностей зубчатых передач для горнодобывающей промышленности

ленности. *Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта*, 2016, № 3, с. 243–251.

- [10] Пахомова С.А., Рыжов Н.М. Эффективность деформационного упрочнения цементованных сталей. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 1999, № 2, с. 61–68.

Шебешев Кирилл Иванович — студент кафедры «Материаловедение», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Иванов Иван Максимович — студент кафедры «Материаловедение», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Пахомова Светлана Альбертовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

MATERIAL MODIFICATION FOR ANTIFRICTION BEARINGS
K.I. Shebeshev

vladisl-2013@yandex.ru

SPIN-code: 5042-1153

I.M. Ivanov

dr.mgtu@yandex.ru

SPIN-code: 3387-6730

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**Abstract**

The article considers a technological process for getting the material and manufacturing the workpieces of the antifriction bearing ceramic bodies. It investigates the composition of the powder ceramic material containing silicon nitride, yttrium oxide and aluminium oxide as well as sintering additives. By means of the microanalysis methods we have examined the composition of ceramics. We have developed a process flow pattern for pressure sintering of the ceramic rolling bodies' workpieces including three stages: 1) preparation of the material in the planetary mill up to 3 μm degree of dispersion with afterbaking; 2) making the press forming by means of compacting the charge material powder in the steel dieset; 3) producing the workpieces by means of pressure sintering of the pressings in the graphite dieset.

Keywords

Ceramics, antifriction bearing, silicon nitride, pressure sintering, density, porosity, solidity

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Fakhurtdinov R.S., Ryzhova M.Y., Pakhomova S.A. Advantages and commercial application problems of vacuum carburization. *Polymer Science. Series D*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 79–83.
- [2] Fakhurtdinov R.S., Pakhomova S.A., Ryzhova M.Yu. On the problems of modernizing equipment for vacuum carburization. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2017, no. 2, pp. 113–118. (Eng. version: *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2017, vol. 46, no. 2, pp. 187–192.)
- [3] Alekseeva J.S., Fedorova L.V., Fedorov S.K., Kapustin I.N. Improving the quality of the surface layer of steel parts. *Proc. 5-th International Mechanical Engineering Forum (IMEF)*, 2012, pp. 65–74.
- [4] Fedorova L.V., Fedorov S.K., Bokhonov G.Yu. Reinforcing electromechanical restoring output shaft gear box change the family car “Gazelle”. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya* [Repair, restoration, modernization], 2015, no. 9, pp. 14–16.
- [5] Pomel'nikova A.S., Fetisov G.P., Pakhomova S.A. On problem of hardening of differently alloyed steels by treatment in corona discharge. *Tekhnologiya metallov*, 2017, no. 2, pp. 20–24.
- [6] Guzman I.Ya., ed. *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki* [Chemical technology of ceramics]. Moscow, Stroymaterialy publ., 2003, 196 p.
- [7] Garshin A.P., Goropyanov V.M., Zaytsev G.P., Semenov S.S. *Keramika dlya mashinostroeniya* [Ceramics for mechanical engineering]. Moscow, Nauchtekhizdat publ., 2003, 384 p.
- [8] Pakhomova S.A. Special aspects of teaching “Surface engineering” discipline to the students of “material engineering and material technology” course. *Inzhenernyy vestnik* [En-

- gineering Bulletin], 2015, no. 9. Available at: <http://engsi.ru/doc/812901.html> (date of access 14.12.2017).
- [9] Pakhomova S.A., Makushina M.A., Kovalenko S.V. Deformatsionnoe uprochnenie tyazhelonagruzhennykh poverkhnostey zubchatykh peredach dlya gornodobyvayushchey promyshlennosti [Deformation hardening of the heavily loaded gear surfaces for the mining industry]. *Sovremennye innovatsionnye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoy promyshlennosti i transporta* [Contemporary innovation technique of the engineering personnel training for the mining and transport industry (CITEPTMTI)], 2016, no. 3, pp. 243–251.
- [10] Pakhomova S.A., Ryzhov N.M. Efficiency of the strain hardening of the rose steels. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 1999, no. 2, pp. 61–68.

Shebeshev K.I. — student, Department of Materials Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Ivanov I.M. — student, Department of Materials Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Pakhomova S.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Materials Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.