УДК 553.3/.4.078:553.2:551.73

ЛАНТАНИДНЫЙ ТЕТРАДНЫЙ ЭФФЕКТ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОРОДАХ КАРБОНАТИТОВОГО КОМПЛЕКСА ЭДЕЛЬВЕЙС ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И., Гусев А.А.

Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru

Впервые для карбонатитов Алтая приводится исследование проявления тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. В карбонатитовом комплексе эдельвейс проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ – M и W. M – тип тетрадного эффекта отмечен в кальцитовых карбонатитах, а в более поздних доломитовых – W. Тетрадные эффекты фракционирования РЗЭ сопровождаются не заряд-радиус-контролируемым («non-CHARAC») поведением химических элементов. Предполагается проявление тетрадного эффекта фракционирования ликвацией карбонатитового расплава, обогащённого флюидами.

Ключевые слова: карбонатиты кальцитовые и доломитовые, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, M- тип, W- тип, ликвация

LANTHANIDE TETRAD EFFECT FRACTIONATION OF RARE EARTH ELEMENTS IN ROCKS CARBONATITE COMPLEX EDELVEIS OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I., Gusev A.A.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail:anzerg@mail. ru

The researching of display tetrad effect fractionation REE lead for carbonatite of Altai at the first. In the carbonatite complex of Edelveis display two types fractionation of REE – M and W. M type of tetrad effect marked in calcite carbonatites, but in more late dolomite carbonatites is W type. Tetrad effects fractionation of REE accompany non charge-radius-control («non-CHARAC») by behavior chemical elements. Perhaps display of tetrad effect fractionation by liquation of carbonatite melt, reaching by fluids.

Keywords: carbonatite calcite and dolomite, tetrad effect fractionation REE, M- type, W-type, liquation

Проявление лантанидного тетрадного эффекта хорошо изучено в сильно эволюционированных гранитоидных образованиях анорогенного и шошонитового типов [2, 6]. Проявление тетрадного эффекта фракционировния редкоземельных элементов (РЗЭ) в карбонатитах не изучено, хотя они относятся к весьма дифференцированным образованиям мантийного генезиса, испытывавшим взаимодействие с коровым материалом. Карбонатитовые магмы обладают высокой насыщенностью флюидами и в них также может проявляться разделение РЗЭ с проявлением тетрадного эффекта фракционирования лантаноидов. Актуальность исследования определяется тем, что с проявлением тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ увязывается рудоносность магм [3]. С этой целью нами изучен геохимический состав породных типов карбонатитового комплекса эдельвейс в Горном Алтае и оценены значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

Результаты исследований

Карбонатитовый комплекс эдельвейс локализован на южном склоне Северо-Чуйского хребта в районе рек Кускунур, Тюте и Джело. Интрузивные тела комплекса прорывают вулканогенно-осадочные образования арыджанской свиты венда.

В составе рассматриваемого комплекса, по данным Н.И. Гусева, выделяются две фазы внедрения: в первую фазу включены высокотитанистые габброиды и подчиненные им количественно пироксениты; во вторую – лейкократовые щелочные сиениты, сиенит-порфиры и сиенит-пегматиты; в качестве жильной фазы выделяются карбонатиты и шонкиниты. В составе первой фазы преобладают меланократовые габбро (70 % площади), в виде полос по периферии массива чередующиеся с лейкократовыми разновидностями габброидов, отличающиеся от первых более низкими содержаниями уралитизированного авгита. Пироксениты развиты меньше и представлены косьвитами с характерной сидеронитовой структурой и диаллагитами, сложенными авгитом и диопсидом; в значительных количествах в пироксенитах присутствуют магнетит и титаномагнетит, менее – шпинель.

Породы второй фазы включают лейкократовые щелочные сиениты, сиенит-порфиры, сиенит-пегматиты, развитые в виде даек и тел неправильной формы как в габброидах первой фазы, так и среди вулканитов арыджанской свиты. Мощность даек сиенитов варьирует от нескольких сантиметров до 5-7 м (в отдельных случаях – до 22 м) при протяжен-

ности от 20 до 80 м. По простиранию данные тела часто распадаются на несколько разобщенных жил, которые затем снова соединяются и образуют локальные раздувы, часто обнаруживая интрузивные взаимоотношения с породами первой фазы. Сиенит-порфиры характеризуются развитием бостонитовой и трахитоидной структур и доминированием калиевого полевого шпата. В сиенит-пегматитах полевые шпаты представлены ортоклазом и микроклин-пертитом, реже доминирует шахматный альбит с развитием кальцита, щелочного амфибола, астрофиллита, биотита; среди акцессориев иногда присутствуют тантало-ниобаты, циркон, монацит.

Карбонатиты в виде прямолинейных жильных тел протяженностью от одного до 25 м размещаются внутри одного из массивов и, в единичных случаях, в породах рамы. Иногда фиксируется зональное строение тел с ядерной карбонатитовой и призальбандовой сиенит-пегматитовой зонами, в других случаях субсогласные карбонатитовые жилы мощностью до 30 см насыщают тела сиенит-пегматитов, не выходя за его пределы. Карбонатиты представляют собой массивные породы, реже полосчатые со скоплениями флогопита и кварца, существенно или кальцитового, или реже – доломитового состава с переменными количествами апатита (от единичных зерен до 20%) и, реже – граната. Возраст карбонатитового комплекса по нашим данным кембрийский [1, 4]. Среди карбонатитов преобладают кальцитовые разности, хотя отмечены и доломитовые. Карбонатиты мелкозернистые (существенно кальцитовые), редко – среднезернистые (доломитовые). Доломитовые карбонатиты более поздние и образуют прожилковидные обособления среди кальцитовых.

В кальцитовых разностях карбонатитов преобладающий кальцит достигает (85-97%) по объёму. В меньших количествах отмечаются флогопит (2-13%), а также единичные зёрна апатита, доломита, пирита, монацита, циркона, пирохлора. Монацит представлен трудно диагностируемой светлой разновидностью. Пирохлор образует октаэдрические кристаллики размерами от 0,5 до 2,5 мм буровато-зеленоватого цвета и ассоциирует с монацитом и цирконом. В местах где, монацит образует густую вкрапленность, наблюдаются корочки рабдофанита жёлтого цвета.

Доломитовые карбонатиты состоят из ангедрального доломита (80-87%), кальцита (1-3%), феррифлогопита (1-2%) и редких акцессориев – магнетита, ильменита, пирротина, пирита, пирохлора.

Микроэлементный состав породных типов комплекса эдельвейс приведен в табл. 1.

Таблица 1

Микроэлементный состав породных типов карбонатитового комплекса эдельвейс (г/т)

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nb	6,5	7,0	258	260	22	40	2,5	1,5	2,0	31	32	33
Ta	0,33	0,36	6,5	2,8	1,3	0,5	0,2	0,25	0,3	6,5	6,8	6,9
Zr	72	78	220	210	65	70	85	73	46	4,0	4,2	4,5
Hf	4,5	4,7	3,6	1,3	3,9	0,08	0,3	0,1	1,6	0,2	0,3	0,35
Y	34	35	26	25	31	5,5	90	17,2	32	10	11	12
Th	5,0	4,9	4,0	5	9,2	3,9	6,5	8,8	7,1	9	10	10
U	2,8	2,8	2,4	1,9	2,3	3,1	0,5	0,8	1,8	1,2	2,1	2,2
La	62,8	67,0	27,1	97	355	145	525	205	277	26,1	26,1	26
Ce	190	180	54,2	185	1094	277	992	663	837	56,3	56,0	54,0
Pr	22	23	3,4	5,0	7,8	20,5	110	33	36	6,3	6,3	6,3
Nd	109	110	8,7	10	13,0	55	293	48	49	22,5	22,6	23,0
Sm	24	23	1,0	6,4	34	8,0	38,4	16	27	3,2	3,3	3,2
Eu	9,5	12	0,5	1,9	14	3,1	9,9	4,4	10,5	0,91	0,83	0,9
Gd	16,0	17	0,7	1,0	2,0	3,4	32	3,9	4,2	2,48	2,5	2,45
Tb	7,8	7,2	0,1	1,0	4	3,5	3,8	1,9	3,3	0,3	0,33	0,21
Dy	8,1	7,1	0,4	0,7	1,0	0,9	17,0	1,0	1,2	1,30	1,32	1,3
Ho	1,3	1,2	0,07	0,1	0,2	0,1	2,8	0,3	0,4	0,23	0,24	0,22
Er	3,0	3,1	0,2	0,3	0,32	0,2	7,5	0,25	0,3	0,44	0,45	0,44
Tm	0,3	0,32	0,04	0,06	0,07	0,03	0,9	0,6	0,7	0,27	0,3	0,28
Yb	2,1	3,3	0,9	1,0	3,2	3,1	5,0	3,2	3,3	0,20	0,32	0,21
Lu	0,82	1,2	0,03	0,05	0,8	0,75	0,6	0,65	0,66	0,02	0,03	0,022
ΣРЗЭ	456,7	455,4	97,3	309,5	1529	520,6	2038	981	1250	120,6	120,6	118,5
$(La/Yb)_N$	19,7	13,8	19,9	64,1	73,2	30,7	69,4	42,0	55,1	86,3	53,8	83,2
$(La/Sm)_N$	1,6	1,77	16,5	9,27	6,4	11,0	8,4	7,81	6,26	5,0	4,84	5,0
$(Gd/Yb)_N$	6,11	4,26	19,9	0,8	0,5	8,81	5,15	42,9	54,0	9,9	6,27	9,46

Примечание. Содержания элементов определены методом ICP-MS в аналитическом центре ИМГРЭ (г. Москва). 1, 2 – флогопитовые пироксениты; 3, 4 – сиениты; 5-9 – карбонатиты кальцитовые; 10, 11, 12 – карбонатиты доломитовые. N – значения РЗЭ нормированы по хондриту по [7].

Сумма редких земель в породах заметно дифференцирована. Из горных пород, сиениты обладают самыми малыми концентрациями суммы РЗЭ. В то же время кальцитовые карбонатиты характеризуются самыми высокими суммарными величинами РЗЭ (520-2038 г/т) за счёт группы лёгких редких земель. Вероятно, это связано с тем, что последовательная дифференциация родоначального расплава на этапе разделения на сиенитовую силикатную и карбонатную части обеспечивала значительное обогащение кальцитовых ликватов. Это вполне согласуется с данными экспериментальных исследований о предпочтительном обогащении лёгкими РЗЭ карбонатных дифференциатов, по сравнению с силикатными [10]. Суммарные концентрации РЗЭ в доломитовых карбонатитах намного меньше, чем в кальцитовых. Породные типы (отношение $(La/Yb)_N$ варьирует от 13,9 до 86,3, что свидетельствует о сильно дифференцированном типе распределении РЗЭ. Отношения лёгких к средним РЗЭ ($(La/Sm)_N$ также весьма высоки (4,84-16,5), кроме флогопитовых пироксенитов.

Рассчитанные значения тетрадного эффекта и некоторых соотношений элементов приведены в табл. 2. Анализ таблицы показывает, что в составе комплекса эдельвейс выделяются две контрастные группы по значениям тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ TE_1, TE_3 и $TE_{1,3}$. Все породные типы и кальцитовые карбонатиты объединяются в группу с проявлением М- типа тетрадного эффекта, а доломитовые карбонатиты обособляются в группу с проявлением тетрадного эффекта W – типа. Для последних свойственны более низкие отношения отношения La/Ta и La/Nb (табл. 2).

Таблица 2

Значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ и отношения некоторых элементов

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TE_1	1,11	1,06	1,24	1,38	1,93	1,2	1,19	2,11	2,11	0,74	1,08	1,06
TE_3	1,89	1,72	0,97	2,88	3,43	1,06	0,91	3,54	4,4	0,89	1,03	0,77
$TE_{1,3}$	1,5	1,39	1,11	2,13	2,68	1,13	1,05	2,83	3,26	0,81	1,05	0,91
Zr/Hf	16,0	16,6	61,1	161,5	16,7	875	283,3	730	28,8	20,0	14,0	12,8
La/Nb	9,7	9,6	0,1	0,37	16,1	3,6	210	136,7	138,5	0,84	0,81	0,79
La/Ta	190,3	186,1	4,2	34,6	273,1	290	2625	820	923,3	4,0	3,8	3,7
Y/Ho	26,1	29,2	371,4	250	155	55	32,1	57,3	80	43,5	45,8	54,5
La/Lu	76,6	55,8	903,3	1940	443,8	193,3	875	315,4	419,7	1305	870	1181
Eu/Eu*	1,49	1,94	1,45	1,42	2,1	0,49	0,86	1,27	1,97	1,18	0,86	0,86

Примечание. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект по В. Ирбер [9]. $Eu^* = (Sm_N+Gd_N)/2$. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [7].

Анализ табл. 2 показывает также, что отношения многих элементов в породах комплекса эдельвейс обнаруживают не заряд-радиус-контролируемое («non-CHARAC» в англо-язычной литературе) по [8] поведение химических элементов. Так, в доломитовых карбонатитах отношения Zr/Hf намного меньше хондритовых хначений (36,0), а в кальцитовых карбонатитах эти отношения имеют широкий интервал значений от 16,7 до 875. Отношения Y/Ho в пироксенитах близки хондритовым значениям (29,0), а во всех остальных породных типах они намного выше хондритовых значений. Вероятно, различные типы тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (М- тип для породных типов и кальцитовых карбонатитов и W- тип для доломитовых карбонатитов) обязаны: 1- различным активностям, насыщенностям и обогащенностям летучими компонентами, такими как H_2O, CO_2, и такими элементами, как Li, B, F и/или Cl; и 2 – возможными процессами ликвации карбонатитовой магмы на различные дифференциаты с последующей трансформацией в распределении лантанидов в тетрадах [6].

На диаграмме $TE_{1,3}$ – Eu/Eu* кальцитовые и доломитовые карбонатиты образуют различные тренды относительно хондритовых значений. Общим для указанных трендов является то, что увеличение тетрадного эффекта М-типа и уменьшение тетрадного эффекта W – типа связано с увеличением величины отношения Eu/Eu*.

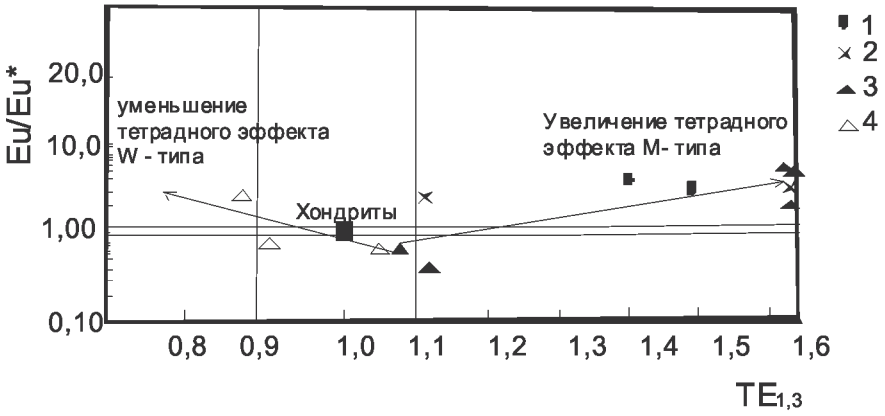

Рис. 1. Диаграмма Eu/Eu – TE1,3 для породных типов карбонатитового комплекса эдельвейс: 1 – флогопитовые пироксениты, 2 – сиениты, 3 – кальцитовые карбонатиты, 4 – доломитовые карбонатиты*

Сравнение величин отношений Eu/Eu* для разных по составу карбоанатитов (кальцитовых и доломитовых) показывает, что чем выше указанное отношение, тем выше кислотность среды, согласно рядам кислотности-щёлочности А.А. Маракушева [5] для ряда элементов Sm, Gd, Eu в водно-сероводородных растворах при стандартных условиях, которые участвуют в расчёте величины отношения Eu/Eu*.

На диаграмме Zr/Hf – $TE_{1,3}$ тренды составов карбонатитов располагаются по разные стороны от от хондритовых значений и имеют противоположные направления (рис. 2).

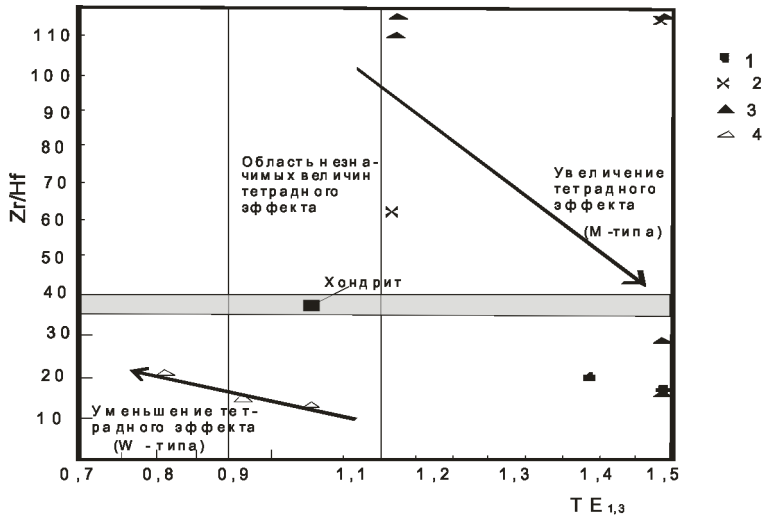

Рис. 2. Диаграмма Zr/Hf – TE1,3 для породных типов карбонатитового комплекса эдельвейс

Серая область отвечает только отношениям элементов (Zr и Hf), но не $TE_{1,3}$. Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Zr и Hf имеют близкое геохимическое поведение и их отношение (Zr/Hf) в большнстве земных и внеземных пород являются почти постоянными, составляя около 38±2; в хондритах оно составляет 36,0. Однако Zr/Hf отношения редуцированы для доломитовых карбонатитов и имеют весьма широкий разброс для всех остальных породных типов комплекса эдельвейс и кальцитовых карбонатитов.

На диаграмме Y/Ho – TE1,3 составы породных типов имеют различные поля фигуративных точек. Уменьшение тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ W-типа связано с уменьшением величины отношений Y/Ho, а увеличение тетрадного эффекта фракционирования M-типа – с увеличением отношения Y/Ho. Кроме того, пироксениты и единичный анализ кальцитовых карбонатитов располагаются в поле составов магматических пород (рис. 3).

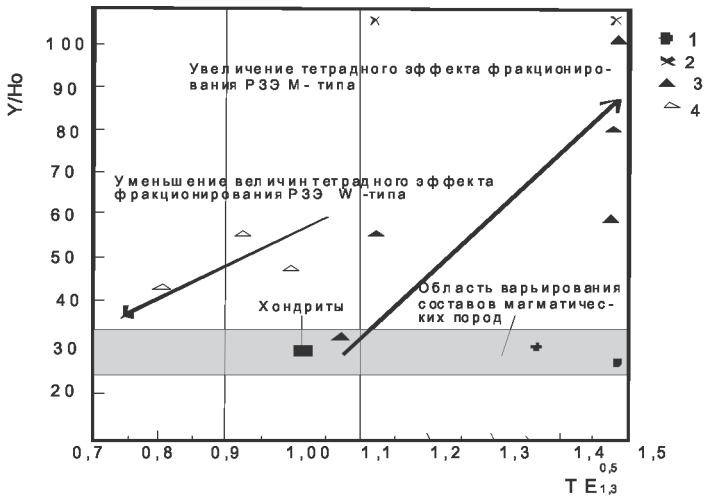

Рис. 3. Диаграмма Y/Ho – $TE_{1,3}$ для породных типов карбонатитового комплекса эдельвейс. Условные обозначения те же, что на рис. 1

Обсуждение результатов и выводы

В карбонатитах комплекса эдельвейс проявлены два типа тетрадного эффекта W и M. Подобная картина нами выявлена в разных массивах гиперсольвусных и транссольвусных гранитоидов Горного Алтая [3]. Аналогичные результаты по проявлению двух типов тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ получены нами по шошонитовым гранитоидам Кавказских минеральных вод [2]. В обоих случаях проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ объяснялась нами показано, что проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ связано с высоководными, обогащенными летучими компонентами флюидами, и, в первую очередь, фтором, бором, углекислотой, фосфором, хлором. Такие летучие компоненты имеют значительное влияние на эволюцию магматизма, температур солидуса и ликвидуса магм, вязкости силикатного расплава, кристаллизационной последовательности минералов из расплавов, а также на поведение рассеянных элементов и их разделение между флюидом и расплавом. Фракционирование РЗЭ при тетрад-эффекте происходит при участии сложных комплексных соединений – фтор-комплексов. В случае же каронатитов, проявление тетрад-эффекта, вероятно, связано с гетерогенизацией расплавов, несмесимостью силикатной части и флюидной и проявлением ликвации [6] в глубинном очаге. В большей степени это характерно для наиболее ранних кальцитовых карбонатитов.

Таким образом, в карбонатитах комплекса эдельвейс проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ – W и M. Вероятно, тетрад-эффект фракционирования РЗЭ обязан ликвации сильно обогащённой летучими компонентами карбонатитовой магмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И., Гусев Н.И. Мантийно-коровое взаимодействие в процессах генерации карбонатитов по изотопным данным стронция и неодима // Успехи современного естествознания, 2011. – № 4. – С. 23-26.

2. Гусев А.А., Гусев А.И., Гусев Н.И, Гусев Е.А.Два типа тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов в шошонитовых гранитоидах Кавказских Минеральных вод // Современные наукоёмкие технологии, 2011. – № 4. – С. 17-22.

3. Гусев А.И., Гусев Н.И. Гиперсольвусные и транссольвусные анорогенные гранитоиды Солонешенского рудного района Горного Алтая // Успехи современного естествознания, 2013. – № 4. – С.45-49.

4. Коробейников А.Ф., Гусев А.И. Петрология и флюидный режим некоторых карбонатитовых массивов // Известия Томского политехнического университета, 2011. – Т. 319. – №1. – С. 24-29.

5. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности // Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М. – Наука. – 1976. – С. 36-51.

6. Перетяжко И.С., Савина Е.А. Тетрад-эффекты в спектрах распределения редкоземельных элементов гранитоидных пород как индикаторы процессов фторидно-силикатной жидкостной несмесимости в магматических системах // Петрология. 2010. Т. 18. № 5. С. 536-566.

7. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. – V.53. – Pp. 197-214.

8. Bau M., Dulski P. Comparative study of yttrium and rare-element behaviours in fluorine-rich hydrothermal fluids // Contrib. Mineral. Petrol. – 1995. – V.119. – Pp. 213-223.

9. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. 1999. – V.63. – №3/4. Pp. 489-508.

10. Veksler I.V., Petibon C., Jenner G.A. Trace element partitioning in immiscible silicate-carbonate liquids systems: an initial experimental study using a centrifuge autoclave // Journ. Petrol., 1998. – V. 39. – № 11-12. – P. 2095-2104.

УДК 621.822.174

ПОРИСТЫЕ МАТРИЦЫ ПОДШИПНИКОВ С ВНЕШНИМ НАДДУВОМ ГАЗА

Космынин А.В., Медведовская Ю.В., Кузеванов А.Б., Федоров А.А., Бурдюг К.П.
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре, e-mail: avkosm@knastu.ru

Показана перспектива использования в подшипниках с внешним наддувом газа пористых материалов в качестве ограничителей расхода. Применение пористых матриц позволяет отказаться от питающих отверстий малых диаметров и улучшить распределение поля давления в зазоре подшипника, что ведет к увеличению грузоподъемности подшипника и жесткости смазочного слоя. В настоящее время не накоплено достаточного опыта использования пористых материалов, которые бы в полной мере удовлетворяли требованиям газовой смазки. Одним из возможных путей состоит в применении древесины, которая после специальной термической обработки приобретает гидрофобные свойства. Такие ограничители расхода газа успешно используются в КнАГТУ при испытании бесконтактных подшипников.

Ключевые слава: газостатический подшипник, пористый материал, ограничители расхода

POROUS MATRIX OF BEARINGS WITH EXTERNAL GAS PRESSURE

Kosmynin A.V., Medvedovskaya Y.V., Kuzevanov A.B., Fedorov A.A., Burdyug K.P.
Komsomolsk-na-Amure State Technical University, Komsomolsk-na-Amure, e-mail: avkosm@knastu.ru

Prospect of the use porous materials as flow limiters in bearings with external pressurization of the gas is shown. Application of porous matrixes allows to refuse from supplying of small diameter holes and improve the distribution of pressure field in the gap of the bearing, which leads to increase hoisting capacity of the bearing and stiffness lubricating layer. At present there is not sufficient experience use porous materials, which would meet fully the requirements of the gas lubrication. One possible way is to use wood, which after special heat treatment gains hydrophobic properties. Such gas flow limiters are used successfully in the KnASTU when testing contactless bearings.

Keywords: gas-static bearings, porous material, flow limiters

Из опыта проектирования и эксплуатации газостатических подшипников известно, что для повышения их устойчивой работы необходимо применять питающие отверстия весьма малых диаметров (меньше 0,1 мм). Однако, при постоянном давлении наддува и толщине смазочного слоя это ведет к уменьшению грузоподъемности (несущей способности) подшипника. Поэтому приходиться увеличивать число питающих отверстий. Это обстоятельство привело к идее применения в газостатических подшипниках пористых вкладышей.

Впервые пористые ограничители расхода газа были предложены Робинсоном и Стерри с целью повышения грузоподъемности подшипников по сравнению с опорами, имеющими дроссельные питающие отверстия [8].

Применение пористых ограничителей расхода позволяет не прибегать к сверлению отверстий малых диаметров. При этом пористый материал допускает определённый объём засорений твёрдыми частицами без серьёзного изменения сопротивления потоку смазки, что позволяет создавать подшипники достаточной жесткости.

При использовании пористых материалов, характер изменения давления газа в зазоре подшипников улучшается из-за увеличения площади наддува. Поэтому если вместо дискретного ограничения струи применить пористое ограничение, то при заданных геометрических размерах подшипника это приводит к заметному росту грузоподъемности и жесткости смазочного слоя.

В качестве пористых вкладышей газовых подшипников с внешним наддувом применяют, главным образом, материалы, получаемые путем спекания металлических и неметаллических порошков. К таким материалам предъявляют ряд основных требований: хорошая обрабатываемость резанием, сохранение пористости после механической обработки, обеспечение требуемых геометрических размеров, хорошая самосмазываемость, отсутствие взаимодействия с химическими примесями, содержащимися в воздухе, обеспечение ламинарного режима течения газа в порах с целью экономичного расхода воздуха и во избежание пневматической неустойчивости.

Для изготовления пористых подшипников принципиально пригодны металлокерамические материалы и некоторые сорта керамики. Однако, при окончательной механической обработке внутреннего отвер-