

УДК 621.65/.69-033.6

О. В. Душко

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОАГРЕГАТОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Прогнозируются свойства высокотвердой керамики методом вдавливания пирамиды Виккерса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: высокотвердая керамика, шлифование высокотвердой керамики, свойства керамики.

Characteristics of highly rigid ceramics are predicted on the basis of the method of Vicker's pyramid indentation.

К е у w o r d s: highly rigid ceramics, grinding of highly rigid ceramics, properties of ceramics.

Повышение надежности и долговечности объемных гидроагрегатов в настоящее время стоит особенно остро. В первую очередь это касается оборудования, работающего в нефтегазовой отрасли, где отдельные узлы и агрегаты подвергаются одновременному воздействию высоких контактных температур, агрессивных и абразивосодержащих сред. Это в значительной степени снижает ресурс и надежность работы не только отдельных узлов и агрегатов, но и целых нефтедобывающих комплексов, и требует многомиллионных затрат на осуществление восстановительных и ремонтных мероприятий. Например, в России в сферу ремонта сейчас отвлечено около восьми миллионов человек. Затраты средств на техническое обслуживание и ремонт превосходят первоначальную стоимость изделий в 5...10 раз.

В связи с вышеизложенным одними из главных направлений развития отечественной промышленности являются повышение износостойкости и долговечности машин и оборудования, многократное снижение ремонтных работ. Значимость этой проблемы будет возрастать по мере перехода к использованию автоматизированных машинных комплексов.

Особо актуален указанный вопрос в нефтехимической промышленности применительно к уплотнительным элементам и парам трения объемных гидроагрегатов [1].

В процессе перекачки нефтепродуктов, содержащих твердовзвешенные частицы, происходит абразивный износ поверхностей пар трения, что ведет к утечке жидкости и снижению эксплуатационных характеристик нефтяного оборудования [2].

В настоящее время в отечественной промышленности при производстве торцовых уплотнений в качестве материала пары трения изделия используется силицированный графит, имеющий высокую коррозионную и механическую износостойкость, а для цилиндрических втулок буровых насосов применяют сталь 70. Однако дальнейшее развитие производства предъявляет новые повышенные требования к параметрам поверхностей трения. За рубежом данная проблема решается путем применения новых износостойких материалов и покрытий. В России также проводятся исследования в указанном направлении, однако серийное изготовление таких изделий не осуществляется,

что связано с недостаточно полной изученностью использования новых современных упрочняющих технологий и композиционных материалов.

На основании изученных литературных источников можно сказать, что существует множество видов износостойких материалов, способных служить в качестве деталей машиностроительной техники, однако эти материалы не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним.

В связи с вышеизложенным актуальной является разработка композиционных материалов, обладающих высоким уровнем физико-механических свойств, в частности материалов на основе оксида алюминия и карбида кремния.

Нами решалась задача получения горячепрессованных материалов на основе карбида кремния производства Волжского абразивного завода с высоким уровнем физико-механических свойств.

Приложение давления в процессе спекания (то есть горячее прессование) значительно ускоряет уплотнение материала. Совмещение процессов прессования и спекания позволяет наиболее полно реализовать пластичность материала. Роль давления при спекании сводится к следующему: увеличивается общая поверхность контакта между зернами за счет перемещения частиц друг относительно друга; снижается температура рекристаллизации; вызывается пластическая деформация кристаллической решетки прессуемого вещества, что приводит к ускорению процесса рекристаллизации.

В данной работе в системе $\text{SiC} - \text{Al}_2\text{O}_3$ исследовались материалы, содержащие 20, 50 и 80 % Al_2O_3 . Порошки оксида алюминия и карбида кремния в указанных соотношениях перемешивались в планетарной мельнице в среде спирта в течение 30 мин. Затем шихта сушилась и просеивалась через сито. Шихту после просева засыпали в графитовую прессформу, на рабочие поверхности которой предварительно наносились защитные покрытия из нитрида бора. Это необходимо для предотвращения взаимодействия синтезируемого материала с графитом. Затем прессформу помещали в пресс для горячего прессования. Благодаря высокой электропроводности графита нагрев осуществляли прямым пропусканием тока через матрицу и пуансоны.

При увеличении содержания оксида алюминия до 50 % по массе процессы уплотнения керамики протекают более интенсивно, и при температурах 1850...1870 °C были получены беспористые материалы.

Металлографические исследования на микроанализаторе показали, что структура материала 50 % $\text{SiC} - 50\%$ Al_2O_3 состоит из зерен карбида кремния, которые окружены связкой из Al_2O_3 (рис. 1).

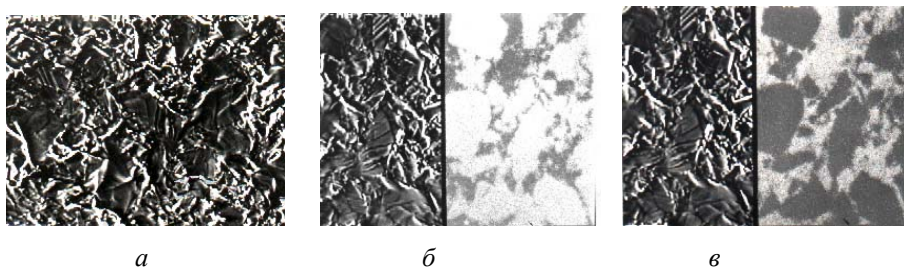


Рис. 1. Структура материала $\text{SiC} - \text{Al}_2\text{O}_3$: *а* — участок излома материала; *б* — распределение в нем кремния; *в* — распределение в нем алюминия

Изнашивание керамических материалов в зависимости от технологий их заключительных термических и механических обработок характеризует ту часть энергии трения, которая запасается разрыхляющим рабочим поверхностным слоем.

Указанная константа имеет двойственную энергетическую природу и, с одной стороны, характеризует критический энергетический порог разрушения, а с другой — способность к запасанию энергии. Ее физическая природа отражает следующий комплекс свойств: фрикционность (коэффициент трения), физико-механические свойства (соответствующие модули упругости и константы решетки кристаллита), технологическую структуру (характеристики макродефектности).

В связи с вышеизложенным предложена методология прогнозирования эффективности оценки качества высокотвердых и хрупких керамических материалов по энергетическому критерию их поверхностной хрупкости χ , определяемой по диаграмме микровдавливания (рис. 2) на микротвердомере по соотношению потенциальной энергии A_y , накопленной в процессе упруго-пластического деформирования при микровдавливании, и работы, необратимо затраченной на пластическое деформирование материала при образовании отпечатка $A_{пл}$ [3]:

$$\chi = A_y A_{пл}^{-1}.$$

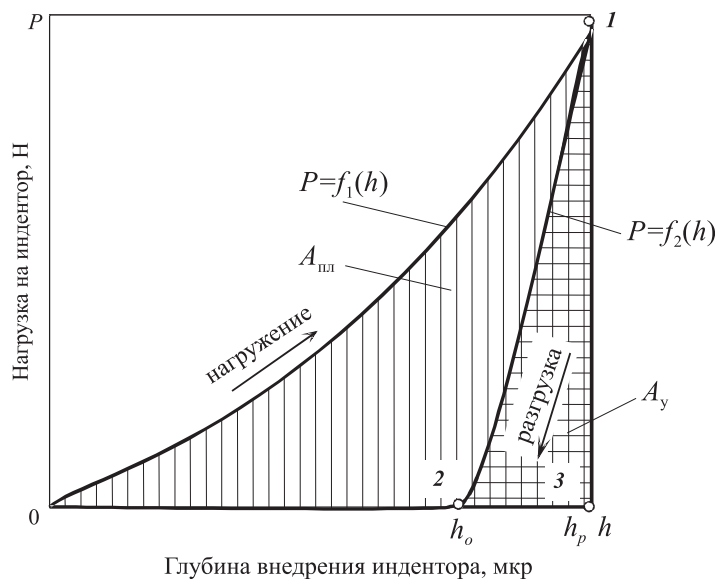


Рис. 2. Схема диаграммы вдавливания пирамиды Виккерса при определении поверхностной хрупкости материалов

С помощью указанной методологии исследована поверхностная хрупкость торцовых уплотнений и цилиндрических втулок из карбидкремниевой керамики. Результаты экспериментов показали, что метод оценки поверхностной хрупкости по диаграмме вдавливания можно рекомендовать для экспресс-контроля качества керамических материалов после алмазной обработки.

Для уточнения результатов определения напряженности процесса шлифования керамики и определения зависимостей удельных нагрузок, действующих в зоне контакта круга с заготовкой в широком диапазоне изменения режимов обработки, была получена зависимость удельной нагрузки P от глубины шлифования и поперечной подачи (рис. 3, 4).

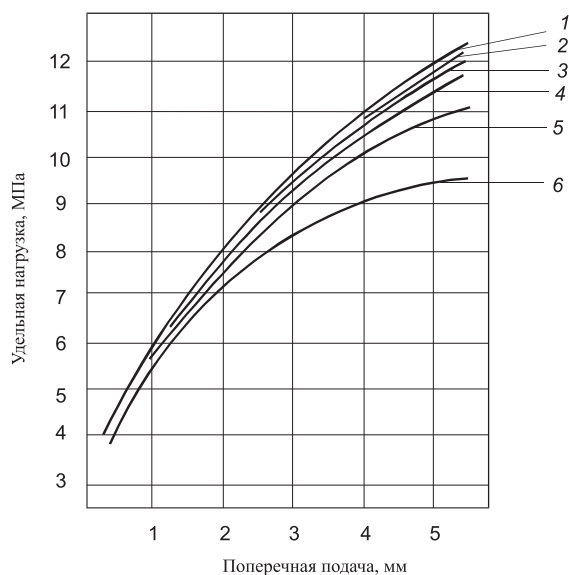


Рис. 3. Зависимость удельной нагрузки от поперечной подачи: t , мм, равно: 3 (1); 2,5 (2); 2,0 (3); 1,5 (4); 1,0 (5); 0,5 (6); скорость круга 38 м/с, скорость стола 15 м/мин; круг АСВ80/63 АІ-100-МВІ с конической заборной частью под углом 6°

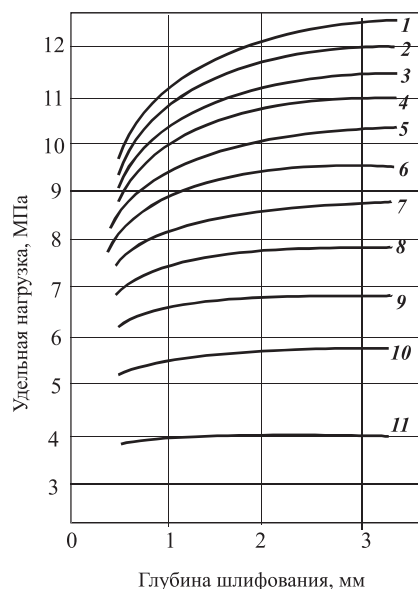


Рис. 4. Зависимость удельной нагрузки от глубины шлифования: $S_{\text{поп}}$ равно, мм/ход: 5,5 (1); 5,0 (2); 4,5 (3); 4,0 (4); 3,5 (5); 3,0 (6); 2,5 (7); 2,0 (8); 1,5 (9); 1,0 (10); 0,5 (11); скорость круга 38 м/с, скорость стола 15 м/мин; круг АСВ80/63; АІ-100-МВІ с конической заборной частью под углом 6°

Установлено, что с ростом поперечной подачи во всем диапазоне изменения глубины шлифования наблюдается неограниченное возрастание удельных нагрузок. При увеличении глубины шлифования удельные нагрузки вначале быстро растут, затем при дальнейшем увеличении глубины рост их замедляется и, достигнув определенного значения, величина их остается практически без изменения. При больших поперечных подачах скорость роста удельных нагрузок при увеличении глубины шлифования больше, и удельные нагрузки достигают предельного значения при больших значениях глубины шлифования, чем при малых подачах.

Зная глубину шлифования, предельно допустимую удельную нагрузку для обрабатываемого материала, можно найти максимально достижимую поперечную подачу, позволяющую вести бесколовую обработку.

С помощью метода непрерывного вдавливания индентора исследовано влияние режимов алмазной обработки керамики на физико-механические характеристики образцов керамики. По диаграмме вдавливания определена микротвердость и хрупкость (энергоемкость) керамики (табл.). Установлено, что наибольшую микротвердость и наименьшую хрупкость имеют образцы, прошлифованные при скорости вращения круга 48 м/с и скорости перемещения стола 9 м/мин, которые следует рекомендовать как оптимальные.

*Физико-механические свойства керамических образцов,
определенные методом непрерывного вдавливания*

Скорость вращения шлифовального круга, м/с	Скорость перемещения стола, м/мин	Микротвердость поверхностного слоя толщиной 1 мкм, ГПа	Поверхностная хрупкость (энергоемкость) χ
14	6	26	0,087
	9	28	0,104
	12	27	0,100
	15	26	0,081
	18	25	0,104
23	6	25	0,124
	9	29	0,169
	12	28	0,156
	15	26	0,124
	18	27	0,138
30	6	28	0,109
	9	26	0,113
	12	25	0,163
	15	25	0,109
	18	27	0,087
38	6	28	0,112
	9	31	0,054
	12	31	0,078
	15	31	0,087
	18	32	0,104
48	6	32	0,123
	9	32	0,058
	12	35	0,056
	15	33	0,063
	18	35	0,131

На основе проведенных исследований разработаны образцы торцевых уплотнений из карбидокремниевой керамики для нефтехимической промышленности. Стендовые и эксплуатационные испытания показали эффективность применения указанных образцов и методологии контроля их качества на разных стадиях производства по критерию хрупкости (рис. 5—7).

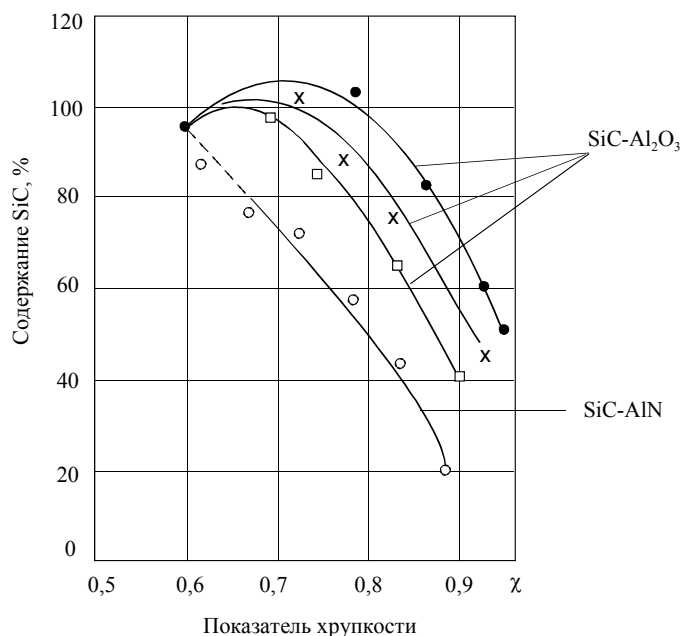


Рис. 5. Зависимости поверхностной хрупкости от технологических факторов: давление прессования 50 МПа; температура спекания, °C: x — 1600; o — 1870; □ — 2250

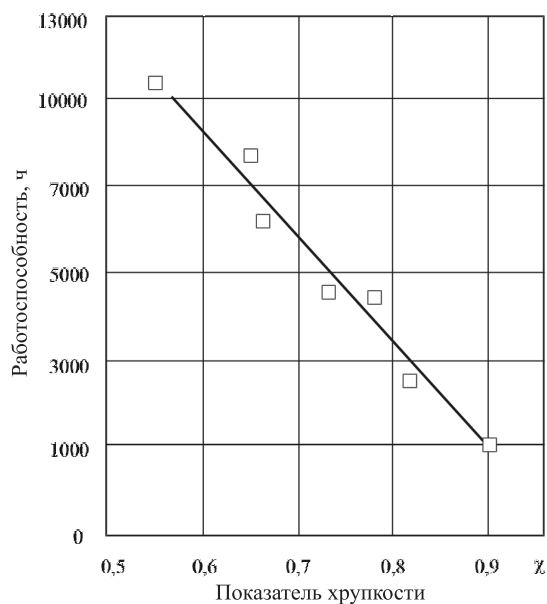


Рис. 6. Зависимость ресурса работоспособности от поверхностной хрупкости при стендовых испытаниях

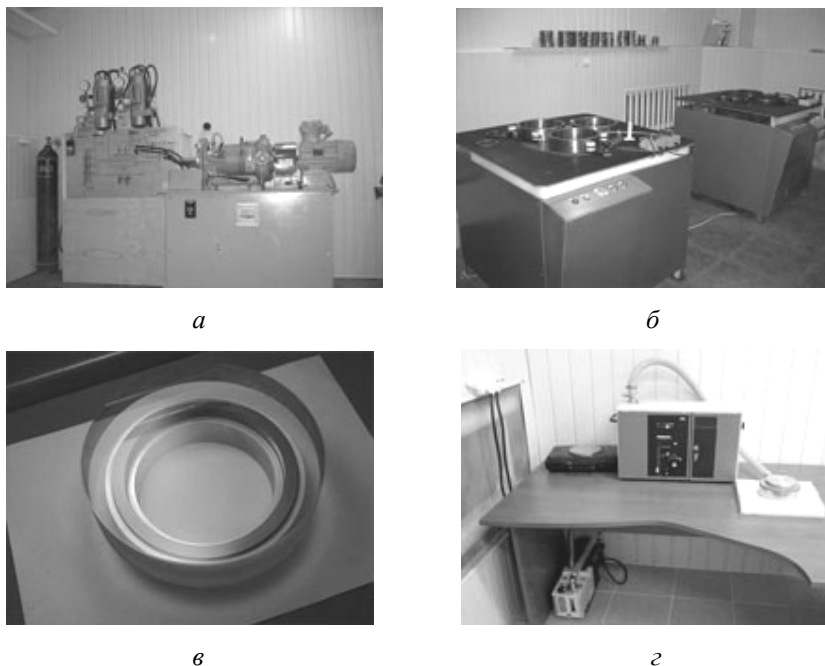


Рис. 7. Лабораторное оборудование для эксплуатационных испытаний торцовых уплотнений: *а* — испытательный стенд; *б* — притирочные станки; *в* — проверка плоскостности, измерение неплоскостности после притирки; *г* — диагностика протечки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Возможности повышения долговечности нефтепромысловых насосных агрегатов и снижение их энергоемкости / О. В. Душко, А. Д. Поликарпов, А. В. Щербин, В. И. Пындак // Геология, бурение и разработка нефтяных месторождений Прикаспия и Каспийского моря. ООО «Лукойл-ВолгоградНИПИморнефть». Вып. 61. Волгоград, 2003. С. 58—61.
2. Душко О. В. Трибология уплотнителей нефтяных объемных гидроагрегатов. Волгоград : ВолГАСУ, 2005. 144 с.
3. Душко О. В., Пушкарёв Д. О., Славина Е. В. Определение поверхностной хрупкости керамических материалов по диаграмме вдавливания индентора // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы : сб. тр. науч.-техн. конф. «Шлифабразив-2005». С. 41—46.
1. Vozmozhnosti povysheniya dolgovechnosti neftepromyslovykh nasosnykh agregatov i snizhenie ikh energoemkosti / O. V. Dushko, A. D. Polikarpov, A. V. Shcherbin, V. I. Pyndak // Geologiya, burenie i razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy Prikaspiya i Kaspiyskogo morya. OOO "Lukoil-VolgogradNIPImorneft". Vyp. 61. Volgograd, 2003. S. 58—61.
2. Dushko O. V. Tribologiya uplotniteley neftegazovykh ob'emnykh gidroagregatov. Volgograd : VolGASU, 2005. 144 s.
3. Dushko O. V., Pushkarev D. O., Slavina E. V. Opredelenie poverkhnostnoy khrupkosti keramicheskikh materialov po diagramme vdavlivaniya indentora // Protsessy abrazivnoy obrabotki, abrazivnye instrumenty i materialy : sb. tr. nauch.-tekh. konf. "Shlifabraziv-2005". S. 41—46.

© Душко О. В., 2012

Поступила в редакцию
в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Душко О. В. Повышение надежности объемных гидроагрегатов путем применения керамических материалов // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).