

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А. С. Ефоян*

Среди многочисленных металлокерамических материалов, применяемых в машиностроении, значительное место занимают антифрикционные материалы.

Так как исходным сырьем для изготовления металлокерамических антифрикционных материалов являются различные порошки, смешиваемые в любом соотношении, то имеется возможность получения таких материалов любого химического состава, в том числе и с неметаллическими добавками (графит, сера и др.).

Металлокерамические материалы, как правило, имеют пористость, величина которой зависит от технологии их изготовления. Для подшипников обычно применяют материалы с пористостью от 15 до 40%. Именно пористость придает металлокерамике антифрикционные свойства, даже в тех случаях, когда компактные материалы того же химического состава ими не обладают. Так, пористое железо имеет весьма высокие антифрикционные свойства. Введение же в его состав нескольких процентов графита настолько повышает эти свойства, что полученный таким образом материал, так называемый железографит, успешно конкурирует в ряде случаев с бронзой и баббитами. Кроме того, наличие пор, заполненных маслом, делает металлокерамические подшипники самосмазывающимися, что особенно важно при затрудненном подводе смазки в подшипниковый узел, а также снижает момент трения при пуске и остановке машин.

Применение металлокерамических вкладышей подшипников дает значительную экономию, так как кроме возможности полноценной замены цветных металлов также резко снижаются отходы производства.

Широкому внедрению антифрикционных металлокерамических материалов препятствует то, что к настоящему времени еще не накоплено достаточное количество опытных данных, позволяющих надежно устанавливать область их рационального применения.

Нагрузочная способность подшипников с металлокерамическими вкладышами зависит от технологии изготовления последних, от их химического состава, пористости, смазки и ряда других факторов. Ниже приводятся результаты исследований, проведенных в лаборатории кафедры деталей машин Харьковского авиационного института, по изучению влияния некоторых из этих факторов на нагрузочную способность таких подшипников.

Эксперименты проводились на установке, схема которой приведена на рис. 2. Нагружение испытываемого подшипника здесь произ-

Таблица 1

Состав шихты <sup>1</sup>	Пористость в %	Твердость	Масло-впитываемость в %	Микроструктура	Вид специальной обработки
Графит кыштымский марки ЭУТ-2 3% Порошок железный 97%	21,1	45,1	3,1	Перлитоферрит	
Графит коллоидальный 3% Порошок железный 97%	22,9	41,9	3,9	Перлитоферрит	
Графит серебристый марки КЛЗ-1 3% Порошок железный 97%	28	53	4,12	Перлитоферрит	
Графит кыштымский марки ЭУТ-2 3% Сера 0,2% Порошок железный остальное	24	47,5	3,85	Перлитоферрит	Сульфидирование введением серы в шихту.
Графит кыштымский марки ЭУТ-2 3% Порошок железный 97%	25	63	—	Перлитоферрит	Сульфидирование нагреванием до 550°C вкладышей, пропитанных серой.
Графит кыштымский марки ЭУТ-2 3% Порошок медный 2,5%. Сера 0,2% Порошок железный остальное	27	76,3	4	Перлитоферрит	Сульфидирование введением серы в шихту.
Графит кыштымский марки ЭУТ-2 1% Cu <sub>2</sub> S—1,77% Порошок железный остальное	21	95	3,6	Перлитоферрит	Сульфидирование введением в шихту Cu <sub>2</sub> S.
Графит кыштымский марки ЭУТ-2 3% Порошок железный 97%	25	61	—	Перлитоферрит	Фосфатирование в ванне МАЖЕФ ГОСТ 6193-52

<sup>1</sup> Железный порошок, входящий в состав всех вкладышей, сулинский марки АМ.

водится динамометром через специальный гидростатический подшипник, образованный башмаком и барабаном. Под действием масла, нагнетаемого насосом в этот подшипник, между башмаком и барабаном создается масляный слой, который оказывает весьма малое сопротивление проворачиванию барабана. Такое устройство позволяет измерять момент трения, действующий на вкладыш испытываемого подшипника. Конструкция и расчет гидростатического подшипника приведены в [1].

Экспериментальные образцы были изготовлены ЦЗЛ завода транспортного машиностроения им. Малышева и пред-

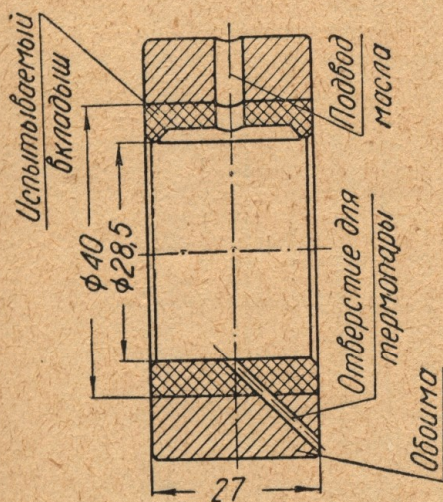


Рис. 1.

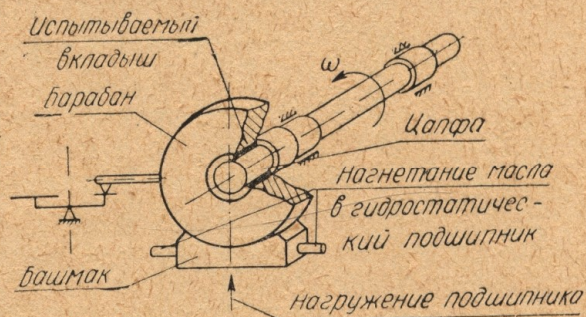


Рис. 2. Схема установки.

ставляли собой металлокерамические втулки (рис. 1), характеристики и химический состав которых представлены в табл. 1.

Спеченные образцы пропитывались маслом и подвергались калиброванию по наружному и внутреннему диаметрам.

Подготовленные образцы запрессовывались в обойму с натягом 0,05—0,06 мм. В случае необходимости (разностенность втулок, неперпендикулярность их торцов к оси и др.) наружная поверхность втулки и ее торцы подвергались механической обработке. Запрессованные втулки, после вырубки в них маслораспределительных каналов и сверления отверстий для установки термопары и подвода смазки, подвергались окончательному калиброванию по внутреннему диаметру.

Такая подготовка вкладышей давала чистоту их внутренней поверхности не ниже  $\nabla 7$  и обеспечивала необходимый диаметральный зазор в подшипнике.

Цапфы подшипников были изготовлены из стали 38ХС, термически обработанной до твердости  $H_B = 305 \text{ кг/мм}^2$ . Чистота рабочей поверхности цапф  $\nabla 8$  диаметральный зазор в подшипнике 0,05—0,06 мм. Собранные подшипники подвергались приработке в течение 10 часов, после чего производились их испытания. Смазывались подшипники маслом МС 20. Расход масла—7 капель в минуту.

Характер изменения нагрузки в процессе приработки и испытаний показан на рис. 3. По истечении времени работы на каждой ступени нагрузки фиксировались момент трения в подшипнике и температура вкладыша в зоне трения. Нагрузка повышалась до появления признаков заедания.

Приработка производилась при скорости скольжения 0,73 м/сек. Испытания—при скоростях скольжения 0,73 м/сек, 1,46 м/сек и 2,92 м/сек.

Критериями оценки антифрикционных свойств испытанных металлокерамических материалов принимались:

- 1) значения коэффициентов трения при различных удельных давлениях и различных скоростях скольжения.
- 2) величины удельных давлений, вызывающих заедание.

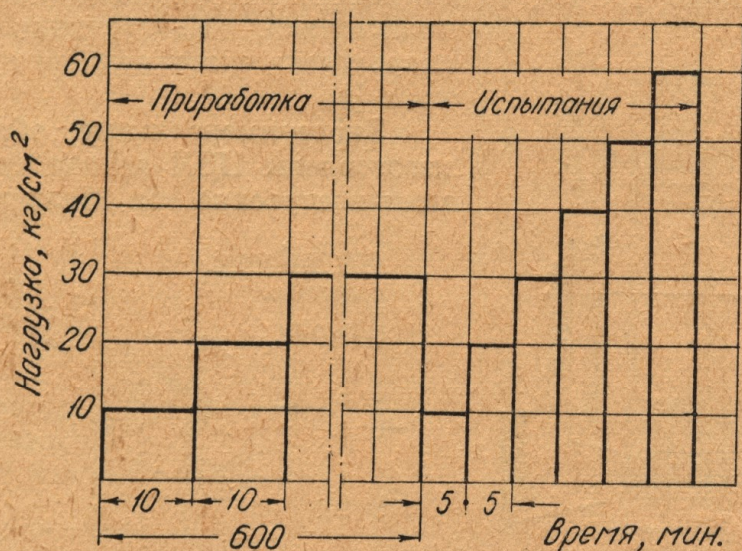


Рис. 3. Характер нагружения испытываемого подшипника

В результате исследований было рассмотрено влияние различных видов графита, введенного в шихту, а также влияние сульфидирования и фосфатирования материала вкладышей на эти факторы.

### Влияние вида графита

При трении металлов графит в присутствии масла графитирует трущиеся поверхности, образуя в результате адсорбции прочную пленку, надежно препятствующую заеданию [2].

Незначительное количество графита, введенного в состав металлокерамических вкладышей, существенно изменяет их антифрикционные свойства. Естественно, что различные виды графита в разной мере влияют на эти свойства.

Для оценки влияния были испытаны железографитовые вкладыши, изготовленные из смесей железного порошка с 3% графита коллоидального, кыштымского марки ЭУТ-2 и серебристого марки КЛЗ-1.

Полученные для этих составов металлокерамики зависимости коэффициентов трения от удельного давления представлены на рис. 4.

Здесь видно, что железографит с коллоидальным графитом выдерживает без заедания наибольшие нагрузки и в то же время имеет наименьший и стабильный коэффициент трения (0,006—0,008) в широком интервале удельных давлений и окружных скоростей скольжения. Несколько ниже находятся антифрикционные свойства железографита с кыштымским, и еще ниже — с серебристым графитом. Следует отметить, что при испытаниях вкладышей с серебристым графитом наблюдалось выкрашивание частиц металла с рабочей поверхности. Довольно крупные чешуйки серебристого графита, вероятно, могут изолировать отдельные частицы порошка железа друг от друга и тем самым препятствуют их спеканию.

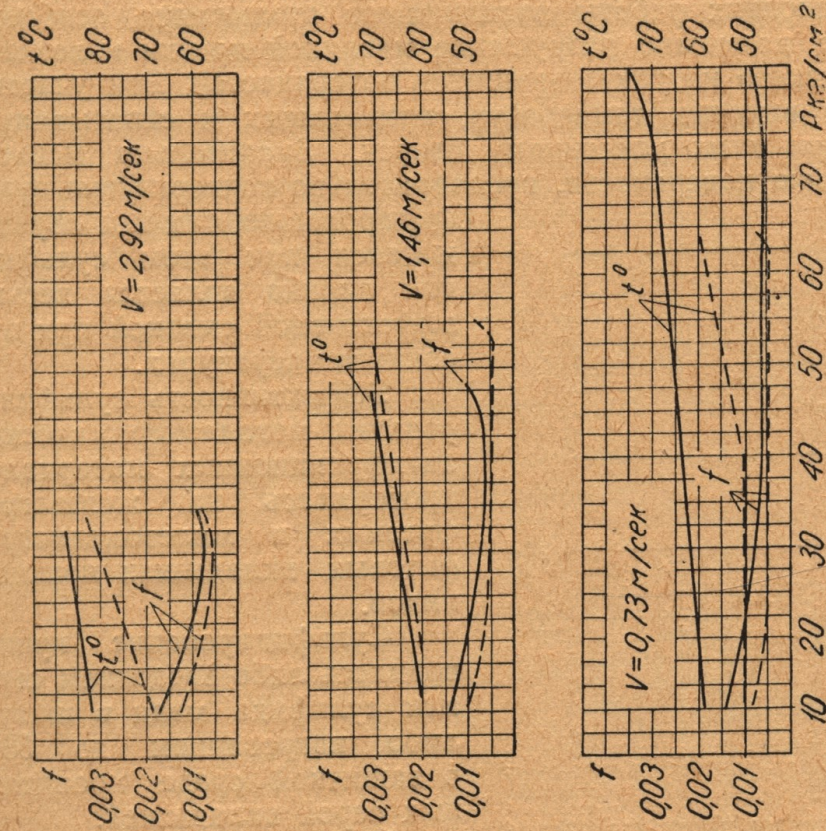


Рис. 5. Зависимости коэффициента трения от удельного давления.

Составы:  
 ————— графит кыштымский ЭУТ-2 — 3%, остальное железо, сульфидирование нагреванием вкладышей, пропитанных серой;  
 - - - - - графит кыштымский ЭУТ-2 — 3%, сера — 2%, остальное железо.

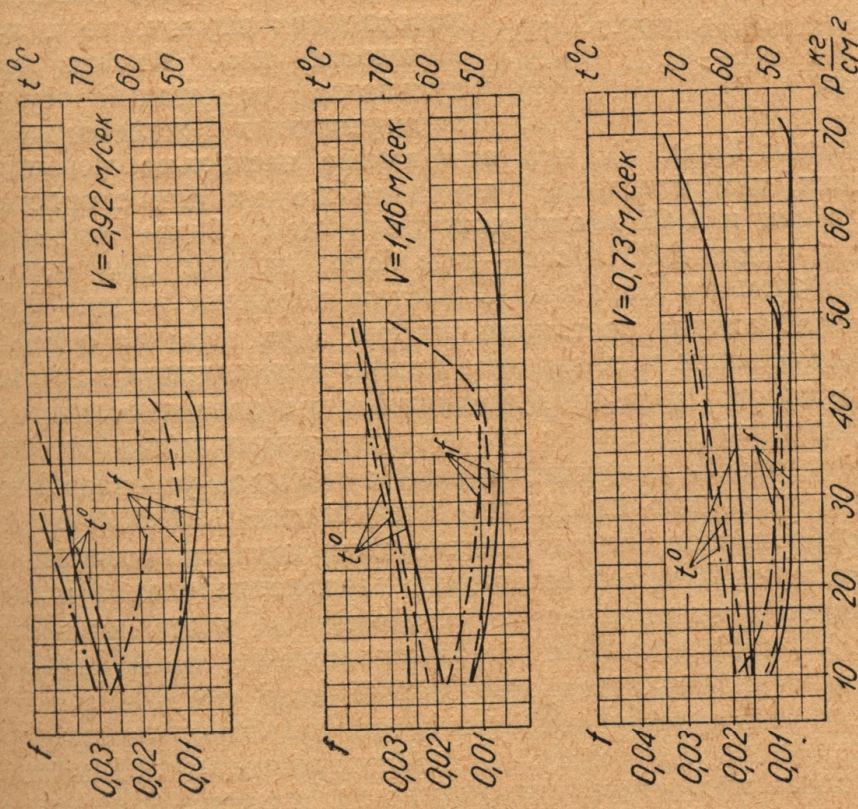


Рис. 4. Зависимости коэффициента трения от удельного давления.

Составы:  
 - - - - - графит кыштымский ЭУТ-2 — 3%, остальное железо;  
 ————— графит коллоидальный — 3%, остальное железо;  
 - · - · - графит серебристый КЛЗ-1 — 3%, остальное железо.

## Влияние сульфидирования

В тяжелых условиях работы подшипников скольжения, особенно при бедной смазке, возможно разрушение масляной пленки и возникновение металлического контакта трущихся поверхностей. Эти участки являются очагами высоких температур, приводящих к схватыванию поверхностей трения и их усиленному износу. Значительно меньше склонны к задиранию поверхности, предварительно подвергнутые сульфидированию, так как образующаяся при этом сульфидная пленка является весьма эффективной смазкой при высоких температурах.

Эффективность сульфидирования металлокерамических антифрикционных материалов проверялась на железографитовых и железомеднографитовых вкладышах подшипников.

Сульфидирование производилось либо введением серы или сульфида меди в шихту, либо нагреванием до  $550^{\circ}$  в защитной среде пропитанных серой вкладышей.

При этом происходит как бы объемное сульфидирование металла, так как с серой реагируют не только внешние поверхности втулок, но и поверхности пор. Анализ результатов испытаний сульфидированных железографитовых втулок показал (рис. 5), что они имеют несколько меньший коэффициент трения, чем исходные; заедание же их для скоростей скольжения  $0,73 \text{ м/сек}$  и  $1,46 \text{ м/сек}$  наступало при более высоком удельном давлении, а для  $2,92 \text{ м/сек}$  — при более низком. Это может быть объяснено следующим образом. С ростом давления в зоне трения подшипников происходит рост температуры. При этом на отдельных участках с наибольшим прилеганием цапфы к вкладышу возможно разрушение масляного слоя, но находящийся на поверхности вкладыша слой сульфидов предохраняет эти участки подшипника от заедания. При малой скорости скольжения слой сульфидов успевает восстанавливаться и эффективно смазывать эти участки длительное время. Такой процесс сопровождается увеличенным износом возвышающихся участков вкладыша, что обеспечивает перераспределение и выравнивание давления в подшипнике и приводит к восстановлению масляной пленки. При больших скоростях скольжения слой сульфидов не успевает восстанавливаться, что в конечном итоге вызывает заедание подшипника. Меньшая эффективность сульфидирования введением серы в шихту, по сравнению с сульфидированием пропитыванием серой уже спеченных втулок, по-видимому, вызвана тем, что в железографите отсутствует свободная сера, так как при спекании она частично выгорает, а частично связывается с металлом.

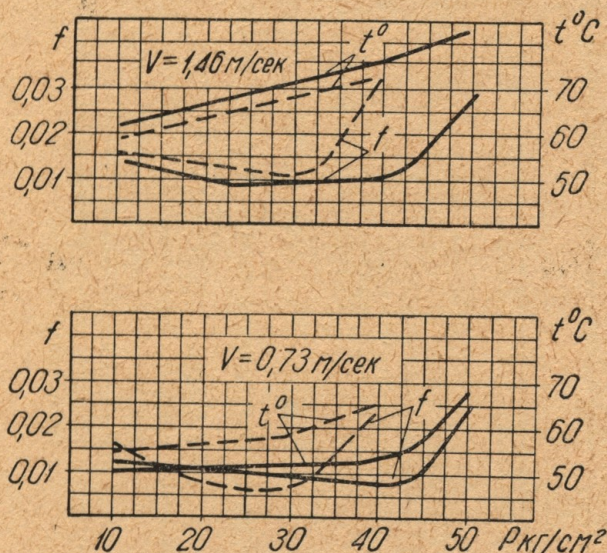


Рис. 6. Зависимости коэффициента трения от удельного давления.

Составы:

- графит кыштымский ЭУТ-2 — 1%; сульфид меди — 1,77%, остальное железо.
- графит кыштымский ЭУТ-2 — 3%; медь — 2,5%, сера — 0,2%, остальное железо.

Как видно из графиков рис. 6, сульфидированная металлокерамика на железной основе с 2,5% меди и 3% графита, а также железозографит, сульфидированный введением сульфида меди в шихту, имеют наиболее низкие показатели.

### Влияние фосфатирования

При фосфатировании металлов их поверхность в результате протекающих при этом химических реакций покрывается пленкой фосфидов металла. При трении под действием высокого давления и темпе-

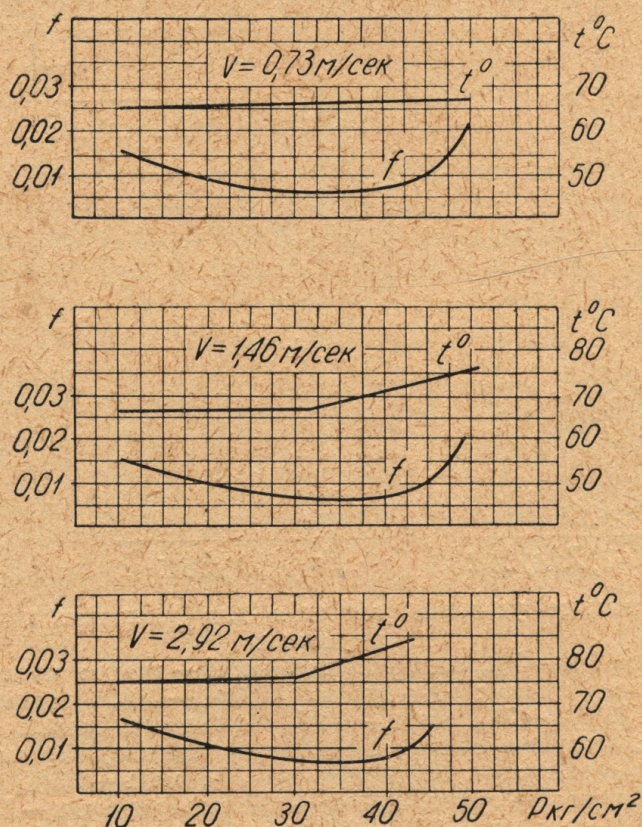


Рис. 7. Зависимости коэффициента трения от удельного давления для фосфатированного железозографита с 3% кыштымского графита ЭУТ-2.

ратуры, развивающихся на площадках фактического контакта, эта пленка сдвигается и, сглаживая таким образом выступы, образует полированную поверхность, что способствует более благоприятному протеканию процессов трения [3]. По-видимому, в известной мере фосфиды играют такую же роль, как и сульфиды.

Следует отметить, что образующаяся при фосфатировании пленка фосфидов пронизана широкой сетью капилляров, являющихся как бы резервуаром смазки. Этот факт дополнительно улучшает условия трения, особенно в периоды пуска и остановки машин.

На рис. 7 представлены графики зависимости коэффициента трения от удельного давления для железозографитовых подшипниковых вкладышей, подвергнутых фосфатированию в ванне МАЖЕФ.

Здесь видно, что фосфатированные вкладыши по сравнению с аналогичными по составу исходными, а также с сульфидированными, имеют наиболее низкие значения коэффициентов трения. Предельные

нагрузки для фосфатированных вкладышей в данном интервале скорости скольжения оказались постоянными, тогда как для остальных испытанных вкладышей эти нагрузки при повышении скорости скольжения значительно снизились.

На рис. 8 представлены величины предельных удельных давлений для всех видов испытанных металлокерамических вкладышей. Здесь же нанесены значения коэффициентов трения, соответствующих этим давлениям.

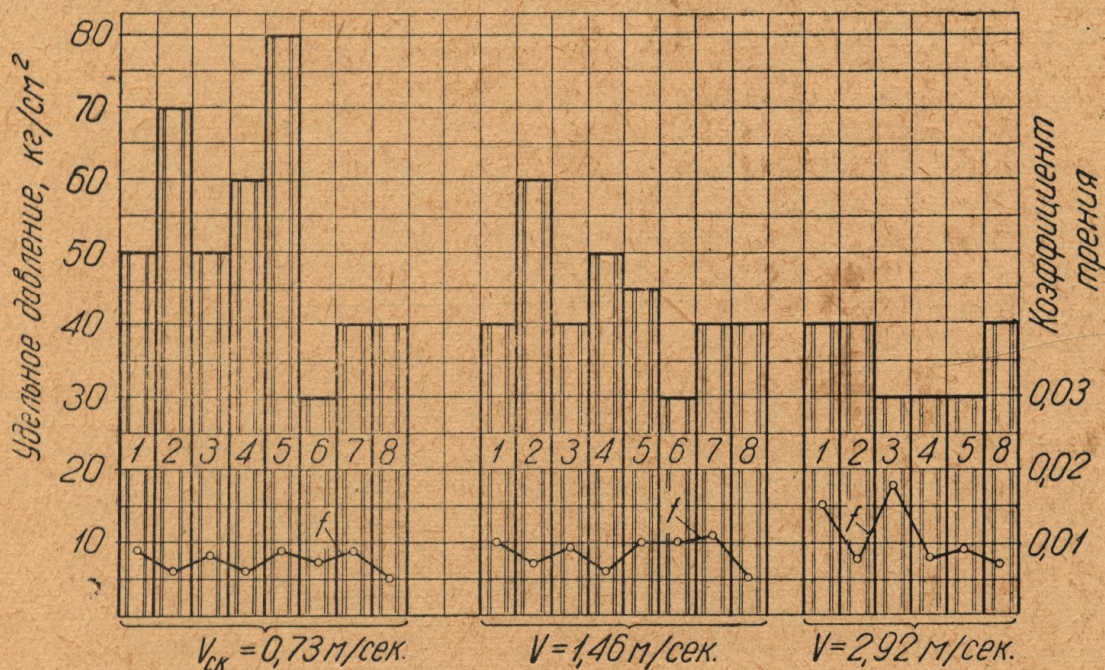


Рис. 8. Предельные удельные давления для различных видов металлокерамики.

1 — графит ЭУТ-2 — 3%, остальное железо; 2 — графит коллоидальный — 3%, остальное железо; 3 — графит КЛЗ-1 — 3%, остальное железо; 4 — графит ЭУТ-2 — 3%, сера — 0,2%, остальное железо; 5 — графит ЭУТ-2 — 3%, остальное железо; сульфидирование нагреванием вкладышей, пропитанных серой; 6 — графит ЭУТ-2 — 3%, медь — 2,5%, сера — 0,2%, остальное железо; 7 — графит ЭУТ-2 — 1%, сульфид меди — 1,77%, остальное железо; 8 — графит ЭУТ-2 — 3%, остальное железо; фосфатирование.

Проведенные испытания позволяют сделать следующие выводы.

1. Сорт графита, введенного в шихту, оказывает существенное влияние на антифрикционные свойства железографита; наиболее благоприятное влияние оказывает коллоидальный графит.

2. При скорости скольжения до 1,5 м/сек. эффективным средством повышения нагрузочной способности железографита является сульфидирование; при более высокой скорости скольжения (до 3 м/сек) более эффективно фосфатирование.

3. Сульфидирование металлокерамики на железной основе, содержащей медь, а также сульфидирование железографита введением в шихту сульфида меди, нерационально.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Александров, Н. П. Артеменко, Л. М. Фельдман, Ю. В. Яковлев. Установка для испытания подшипников скольжения, «Вестник машиностроения», Машгиз, 1959, № 11.

2. А. К. Зайцев. Основы учения о трении, износе и смазке машин, ч. 4, Машгиз, М., 1948.

3. A. A. Bartel. Getriebeschmierung V.D.I., Mai, 1961.