

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ПОДШИПНИКА 4A276214 Ю13

УГОЛ КОНТАКТА	Кол-во подшип- ников	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА В МКМ	
		ПО РАДИАЛЬНОМУ ЗАБОРУ	ПО ОСЕВОМУ ЗАБОРУ
19°45' ÷ 22°53'	40	77	117
23°08' ÷ 25°55'	78	76	107
26° ÷ 29°09'	26	39	66

СРЕДНИЕ ИЗНОСЫ ПО ВСЕЙ ВЫБОРКЕ (44 ИСПЫТАНИИ)  
62,5 И 102,6 СООТВЕТСТВЕННО

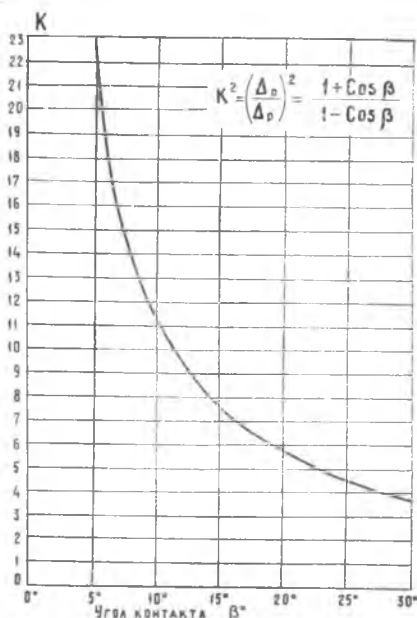


Рис. 2.

Ю. Г. СОКОЛОВ

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СЕПАРАТОРОВ РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ГТД

В высокоскоростных шариковых подшипниках роторов ГТД большого ресурса сепаратор испытывает многие миллионы циклов нагружения, величина которого колеблется в широком диапазоне в зависимости от конструктивных особенностей подшипника и условий его работы. Качество изготовления деталей подшипника также имеет значительный разброс.

Эти обстоятельства приводят к тому, что даже при отсутствии масляного голодания или повреждения беговых дорожек или шариков, в эксплуатации наблюдаются случаи усталостных поломок перемычек сепаратора.

Известно, что нагрузки на сепаратор возрастают в условиях работы подшипника с перекосом и при одновременном действии осевой и радиальной нагрузок, что неизбежно для подшипников ГТД. Рост габаритов подшипников, вызванный применением двухвальных и трехвальных двигателей, а также требования снижения веса обуславливают применение подшипников сверхлегких серий, имеющих малое отношение диаметра шарика к диаметру беговой дорожки и, как следствие, повышенную чувствительность к

перекосам. Другой тенденцией в работе подшипников является рост рабочих температур как в сверхзвуковых, так и дозвуковых ГТД. Это также приводит к росту нагрузок на сепаратор, связанному с ухудшением смазки в контакте шариков с желобами.

Для повышения усталостной прочности и износостойкости сепараторов было использовано виброупрочнение, получившее название виброгалтовки. Об этом опыте докладывалось на Юбилейной конференции КуАИ в 1967 г. С тех пор подшипник В176130БЗТ2 с виброгалтованным сепаратором освоено 3 ГПЗ и выпускается серийно. Его ресурс доведен до 4250 часов, наработки отдельных подшипников превышают 5000 часов и до настоящего времени не отмечено ни одного случая поломки сепаратора как в нормальных условиях, так и в случае выкрашивания беговой дорожки подшипника при наработке свыше 5000 часов при работе на форсированном режиме, эквивалентном 20000 часов эксплуатационного режима. Необходимо отметить, что при эксплуатации ранее применявшегося подшипника без виброгалтовки сепаратора отмечены 3 случая усталостных поломок перемычки сепаратора при наработках в диапазоне от 1400 до 3325 часов.

Для получения данных по влиянию виброгалтовки на усталостную прочность были проведены испытания перемычек сепараторов при знакопеременном изгибе. Результаты испытания свидетельствуют, что на базе  $5 \cdot 10^6$  циклов виброгалтованные сепараторы имеют предел усталости на 40—50% более высокий, чем у сепараторов без виброгалтовки, причем с увеличением числа циклов до  $15 \cdot 10^6$  преимущество виброгалтованного сепаратора возрастает.

С целью выявления влияния повышенных рабочих температур на эффект виброгалтовки были проведены сравнительные испытания виброгалтованных образцов после их 200-часовой выдержки при температуре 190°C. Из результатов этих испытаний следует, что усталостная прочность виброгалтованных образцов после выдержки при повышенной температуре практически не изменилась.

При оценке эффективности виброгалтовки сепаратора следует иметь в виду, что в эксплуатации поломка сепаратора, как правило, происходит не по всем, а по одной или двум перемычкам, наиболее ослабленным каким-либо концентратором напряжений. Очень часто им является надрез или грубая риска, полученная при ручном снятии заусенцев и притуплении кромок перемычек. При виброгалтовке происходит одновременная обработка всех перемычек, что устраняет возможность появления таких выпадов. Таким образом, при виброгалтовке существенно повышается стабильность прочностных свойств всех перемычек сепаратора.

Эффект повышения усталостной прочности виброгалтованных сепараторов достигается за счет:

1. Поверхностного упрочнения и создания сжимающих напряжений в поверхностном слое.

2. Устранения концентраторов в виде рисок и царапин на кромках.

3. Повышения чистоты поверхности на 1—2 класса.

4. Увеличения радиуса скругления кромок.

Кроме повышения усталостной прочности виброгалтовка повышает износостойкость сепаратора и снижает потери на трение по поверхностям центрирования сепаратора, что играет важную роль в высокоскоростных легконагруженных подшипниках, подверженных повреждениям в результате проскальзывания в контактах шариков с беговыми дорожками.

Для оценки износостойкости и потерь на трение виброгалтованного сепаратора были проведены испытания на машине МИ-1М закаленных и шлифованных образцов из стали ШХ-15 при трении с образцами из бронзы БрАЖМц-10-3-1,5, имитирующие контакт сепаратора с кольцом подшипника.

В ходе испытания замерялся коэффициент трения в начале, середине и конце испытания, а также оценивался износ по потере веса образцов. Результаты испытания представлены в таблице. Сравнивались следующие варианты бронзовых образцов:

1) серийный — точеный с серебряным покрытием с чистотой, соответствующей 6 классу (по покрытию);

2) виброгалтованный с чистотой 9—10 класса;

3) виброгалтованный с добавкой двусернистого молибдена — чистота около 9 класса.

Виброгалтованный образец имеет наименьший износ по потере веса, стабильно-минимальный коэффициент трения в 2,8 раза меньший, чем у стандартного варианта. Несколько неожиданным является ухудшение характеристик трения при виброгалтовке с добавкой двусернистого молибдена.

Для определения режима трения проведен расчет толщины смазочного слоя при этих испытаниях. При действовавшей погонной нагрузке  $K_0 = 5 \cdot 10^3$  кг/м, приведенной кривизне  $\lambda_a + \lambda_b = 80$  1/м, суммарной скорости  $U_a + U_b = 2,08$  м/сек, приведенном модуле упругости  $E = 1,38 \cdot 10^{10}$  кг/м<sup>2</sup> толщина смазочного слоя, определенная по номограмме, разработанной Д. С. Кодниром, составляет  $h_0 = 0,08 \cdot 10^{-6}$  м. При этом принималось, что для масла ВНИИ НП-50-1-4ф, в среде которого велось испытание, вязкость равна  $\nu_0 = 0,00068$  кг·сек/м<sup>2</sup> и пьезокэффициент вязкости  $\eta = 9,45 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/кг.

Полученная величина минимальной толщины смазочного слоя свидетельствует о режиме смешанного трения в ходе испытания образцов, поэтому более благоприятные характеристики трения виброгалтованного образца могут быть непосредственно связаны с его более высокой чистотой поверхности по сравнению со стандартным.

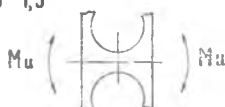
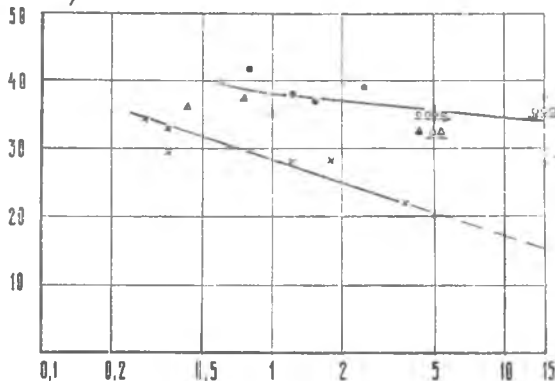
При освоении виброгалтовки сепараторов на 3 ГПЗ установлено, что изменение геометрических параметров сепаратора при

# ПРЕДЕЛ УСТАЛОСТИ ПЕРЕМЫЧЕК

$\sigma_{-1}$

СЕПАРАТОРА ИЗ БРАЖМЦ-10-3-15

кг/мм<sup>2</sup>



Для гладкого образца

- x - точенце + серебрение
- - точенце + виброгалт. + серебрение
- Δ - точк + виброгалт. при 180°С 200 часов
- , Δ - образцы не сломались.
- Число циклов  $\times 10^6$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ НА ТРЕНИЕ

№/№	ВАРИАНТЫ ОБРАБОТКИ БРОНЗОВОГО РИАНКА	ИЗНОС ГР.			КОЭФФ. ТРЕНИЯ		
		БРОНЗА	СТАЛЬ		НАЧАЛ	СЕРЕД.	ОКОНЧ.
1	ТОКАРНАЯ $\nabla 7$ + ПОЛИРОВКА $\nabla 8$ + СЕРЕБРЕНИЕ $\sim \nabla 6$	0,0480	0,0025		0,0825	0,087	0,101
2	ТОКАРНАЯ $\nabla 7$ + ПОЛИРОВКА $\nabla 8$ + ВИБРОГАЛТОВКА $\sim \nabla 9 \div \nabla 10$	0,0071	0,0001		0,030	0,029	0,029
3	ТОКАРНАЯ $\nabla 7$ + ПОЛИРОВКА $\nabla 8$ + ВИБРОГАЛТОВКА в $M_0 \Sigma_2 \sim \nabla 9$	0,0104	0,0013		0,045	0,040	0,040

МАШИНА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МК-1М

НАГРУЗКА 50 кг

ДИАМЕТР РИАНКА 50 мм

ШИРИНА РИАНКА 10 мм

СКОРОСТЬ БРОНЗОВОГО РИАНКА 1,1 м/сек.

СКОРОСТЬ СТАЛЬНОГО РИАНКА 0,98 м/сек

СТАЛЬНЫЙ РИАНК ШХ15  $\nabla 11$  кл.

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИСПЫТАНИЯ 2 ЧАСА

СРЕДА - МАСЛО ВНИИП-50-1-4 50°С

Рис. 1.

этом не выходит за установленные нормы. В настоящее время отработана серийная технология виброгалтовки сепараторов, разработаны и освоены в изготовлении вибростолы, контроль качества виброгалтовки ведется партионными испытаниями перемычек сепаратора на усталость.

Широкое внедрение виброгалтовки сепараторов не только позволит поднять ресурс и надежность работы ответственных подшипников, но и поставит на очередь вопрос о снижении веса сепаратора, что повышает податливость сепаратора и улучшает его работоспособность при перекосах и комбинированной радиальной и осевой нагрузках в условиях высоких температур и смазки маловязкими жидкостями.

**В. А. САДЫКОВ**

### **О МИНИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЕ СЛОЯ СМАЗКИ В УПОРНОМ УЗЛЕ ПРИ СВЕРХВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Возрастание скоростей и нагрузок ведет к тому, что основное преимущество шевронных передач — взаимная уравновешенность осевых усилий полушевронов реализуется не полностью. У высоко-скоростных передач шестерня «не успевает» в полной мере сместиться в осевом направлении для компенсации ошибок изготовления зубьев и самоустановиться относительно колеса так, чтобы передаваемая нагрузка равномерно распределялась между полушевронами. Это может приводить к значительным мгновенным перегрузкам одного из полушевронов, снижает надежность и долговечность передачи, а иногда приводит к повреждению и поломке зубьев колес. На эти явления необходимо особенно обращать внимание у передач, где окружные скорости в зацеплении приближаются и превышают 100 м/сек. В этом случае предпочтительны косозубые передачи.

Для восприятия осевого усилия зацепления удобно применять упорные гребни—простые устройства, имеющие наименьшие габариты и потери из всех типов упорных подшипников.

Упорный гребень представляет собой диск, закрепленный на цапфе шестерни. При вращении шестерни происходит перекачивание с проскальзыванием конусной рабочей поверхности гребня по конусообразному упорному торцу колеса. Осевые усилия в зацеплении стремятся сместить шестерню относительно колеса, но упорный гребень препятствует этому, т. к. реакции на гребне и торце колеса уравновешивают эти усилия.

Для расчета упорных гребней неприменимы известные методики контактно-гидродинамического расчета [1] по следующим причинам:

Хотя погонные нагрузки у гребней ( $q=80—160$  кг/мм) в несколько раз больше, чем у зубчатых колес, но из-за того, что радиусы кривизны упорных поверхностей гребней на два—три порядка выше, чем у зубчатых передач и подшипников качения,