

Исследование эксплуатационных характеристик втулок из антифрикционного самосмазывающегося материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии

Сообщение 2. Испытания втулок из материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии

Государственное предприятие «Антонов», г. Киев, Украина

Представлены положительные результаты испытаний втулок из антифрикционного самосмазывающегося материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии на назначенный ресурс, устойчивость при циклических изменениях температуры и остаточную деформацию, а также металлографические исследования втулок после ресурсных испытаний. Рекомендована организация собственного производства втулок из материала БФГ-50М на ГП «Антонов» в порядке импортозамещения от зарубежных производителей и поставщиков ранее применявшихся в самолетах отечественного производства втулок из материала МФЛ.

Ключевые слова: испытания втулок из антифрикционного материала БФГ-50М, метод порошковой металлургии.

Введение

В нашей работе [1] показана актуальность импортозамещения продукции зарубежных поставщиков на отечественную, в частности антифрикционных металлофторопластовых втулок из материала БФГ-50М, имеющих широкое применение в самолетах ГП «Антонов» последнего поколения [2-4].

В этой работе подробно описана технология изготовления этих втулок и металлографические исследования их заготовок. Ниже приведены результаты испытаний втулок из материала БФГ-50М.

Испытания втулок из материала БФГ-50М

Испытания спеченных втулок 40-18-ОСТ1 10287-78 из материала БФГ-50М проводили в соответствии с требованиями ОСТ1 00536-78, устанавливающего объем испытаний для свертных втулок из металлофторопласта. Выбор для испытаний указанных втулок (с внутренним диаметром $\varnothing 40H7$ мм) обусловлен как имеющейся оснасткой для стенда, так и тем, что результаты испытаний таких втулок распространяются и на втулки из материала БФГ-50М меньшего диаметра. Следовательно, при положительных результатах не требуется проведение испытаний в объеме требований ОСТ1 00536-78 спеченных втулок всего размерного диапазона. Испытания на назначенный ресурс и определение коэффициента трения проводили на стенде серийного завода «Антонов», схема которого показана на рис. 1.

Для выполнения испытаний спеченные втулки 40-18-ОСТ1 10287-78 (12 штук) запрессовывали в кассеты (рис. 2). До начала испытаний выполняли измерения внутреннего диаметра запрессованных втулок, результаты которых представлены в табл. 1. Последовательность сборки кассет с запрессованными втулками для установки их на испытательный стенд показана на рис. 3. При такой сборке исключается перекося осей.

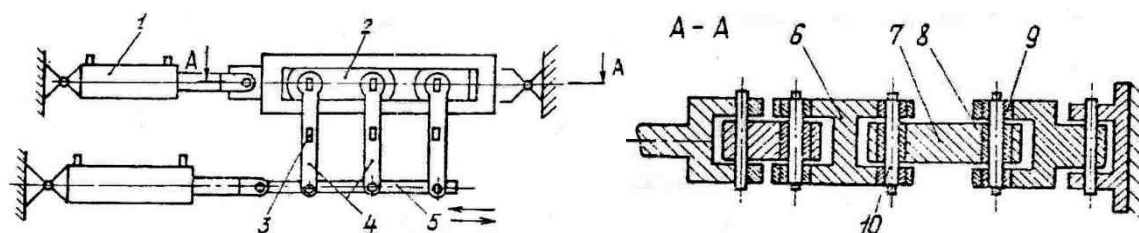


Рис. 1. Схема контроля втулок на технический ресурс:
 1 – нагружающий цилиндр; 2 – блок шарниров в направляющих;
 3 – тензометрический датчик; 4 – рычаг; 5 – механизм привода;
 6 – внешнее звено; 7 – внутреннее звено; 8 – средняя втулка;
 9 – крайняя втулка; 10 – ось (по ОСТ1 00536-78)

Таблица 1

Результаты измерений внутреннего диаметра втулок 40-18
 ОСТ1 10287-78 до и после испытаний на назначенный ресурс

Номер втулки	Внутренний диаметр втулки, мм	
	До испытания	После испытания
1	Ø 40,04 – Ø 40,07	Ø 40,05 – Ø 40,08
2	Ø 40,05 – Ø 40,06	Ø 40,05 – Ø 40,08
3	Ø 40,05 – Ø 40,08	Ø 40,05 – Ø 40,08
4	Ø 40,04 – Ø 40,06	Ø 40,06 – Ø 40,11
5	Ø 40,03 – Ø 40,07	Ø 40,05 – Ø 40,07
6	Ø 40,05 – Ø 40,06	Ø 40,06 – Ø 40,08
7	Ø 40,05 – Ø 40,06	Ø 40,06 – Ø 40,07
8	Ø 40,05 – Ø 40,06	Ø 40,06 – Ø 40,07
9	Ø 40,05 – Ø 40,06	Ø 40,06 – Ø 40,07
10	Ø 40,04 – Ø 40,06	Ø 40,05 – Ø 40,07
11	Ø 40,05 – Ø 40,06	Ø 40,06 – Ø 40,08
12	Ø 40,04 – Ø 40,06	Ø 40,06 – Ø 40,07

Испытания спеченных втулок проводили без смазки при возвратно-вращательном движении со скоростью 0,004 м/с и постоянной нагрузке 144000 Н. За один полуцикл работы принят поворот осей на угол 30° из одного крайнего положения в другое. Всего было отработано 100000 циклов.

Материал контртела, работающего в паре трения с втулкой, – сталь 30ХГСА с покрытием X_{TB} 45. Измерение коэффициента трения проводили в начале и конце испытаний. Коэффициент трения в начале испытаний составлял $\eta=0,067$, в конце испытаний – $\eta=0,079$ при норме $\eta \leq 0,12$ согласно требованиям ОСТ1 00536-78.

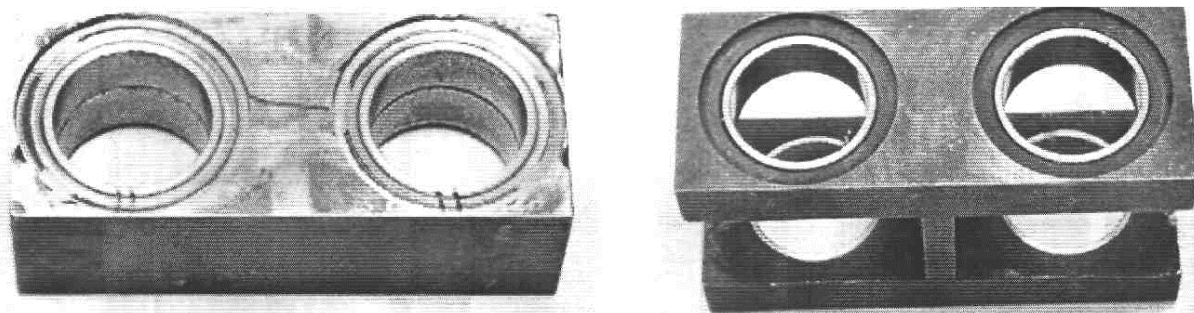


Рис. 2. Кассеты с запрессованными втулками из материала БФГ-50М



Рис. 3. Сборка кассет с запрессованными втулками с осью перед установкой на испытательный стенд

Измерение износа втулок проводили через 100000 циклов работы. Износ втулок составил 0,01...0,05 мм при норме 0,1 мм на сторону согласно требованиям ОСТ1 00536-78. Результаты измерения внутреннего диаметра втулок после отработки 100000 циклов представлены в табл. 1.

Испытания на устойчивость при циклических изменениях температур проводили в целях определения способности спеченных втулок из материала БФГ-50М противостоять циклическим изменением температуры в диапазоне $-60...+250^{\circ}\text{C}$ в течение трех следующих друг за другом циклов.

Каждый цикл выполняли в такой последовательности:

- втулку помещали в камеру холода, в которой заранее устанавливали температуру $-(60 \pm 3)^{\circ}\text{C}$, и выдерживали при этой температуре в течение двух часов;

- втулку помещали в камеру тепла, в которой заранее устанавливали температуру $(250_{-5})^{\circ}\text{C}$, и выдерживали при этой температуре в течение двух часов.

По истечении времени выдержки в камере тепла цикл повторялся.

Время переноса втулок из камеры холода в камеру тепла и обратно – не более 5 минут. Время выдержки в камерах холода и тепла отсчитывалось с момента достижения заданной температуры воздуха после загрузки втулок.

Состояние металлофторопластового слоя на втулках из материала БФГ-50М после испытаний на устойчивость при циклическом изменении температур показано на рис. 4.

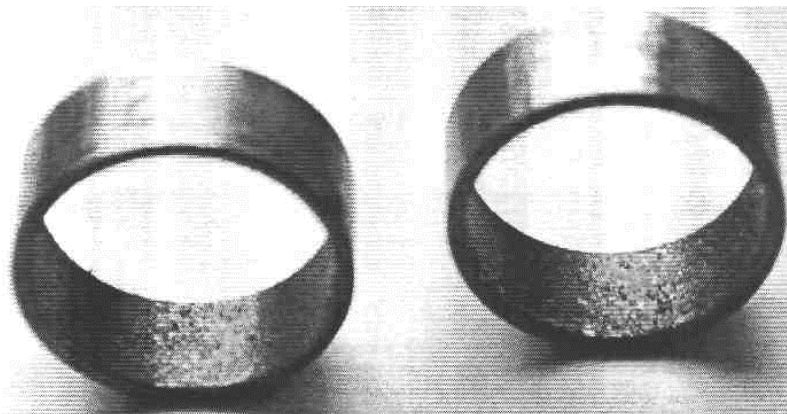


Рис. 4. Втулки из материала БФГ-50М после испытаний на устойчивость при циклическом изменении температур

Результаты испытаний спеченных втулок 40-18-ОСТ1 00287-78, проведенных по программе ОСТ1 00536-78, подтвердили их работоспособность без замечаний.

Испытания на остаточную деформацию проводили в целях определения статической нагрузки, после которой на втулках появляется остаточная деформация. Испытания выполняли в лаборатории серийного завода «Антонов» на разрывной машине ЕИ-100

Спеченные втулки 40-18-ОСТ1 00287-78 (4 шт.) подвергали нагрузке 216000 Н. После снятия нагрузки определяли остаточную деформацию, которая соответствовала 0,008...0,01 мм.

После ресурсных испытаний две втулки из материала БФГ-50М (№3 и №4) прошли металлографические исследования. При визуальном осмотре втулок износ фторопластового слоя наблюдался практически на половине площади по внутреннему диаметру (рис. 5). Для металлографических исследований зон, подвергнутых износу и без него, втулки разрезали на две части.



Рис. 5. Фрагменты втулок со следами износа и без износа

Результаты измерений размерных параметров втулок после испытаний представлены в табл. 2. Как видно, у втулки № 3 припеченный бронзовый слой в зоне выработки тоньше, чем в зоне без выработки, а у втулки № 4 – наоборот. Фторопластографитовый слой над бронзовыми гранулами отсутствует, а сами гранулы имеют вид «притертых» (рис. 6).

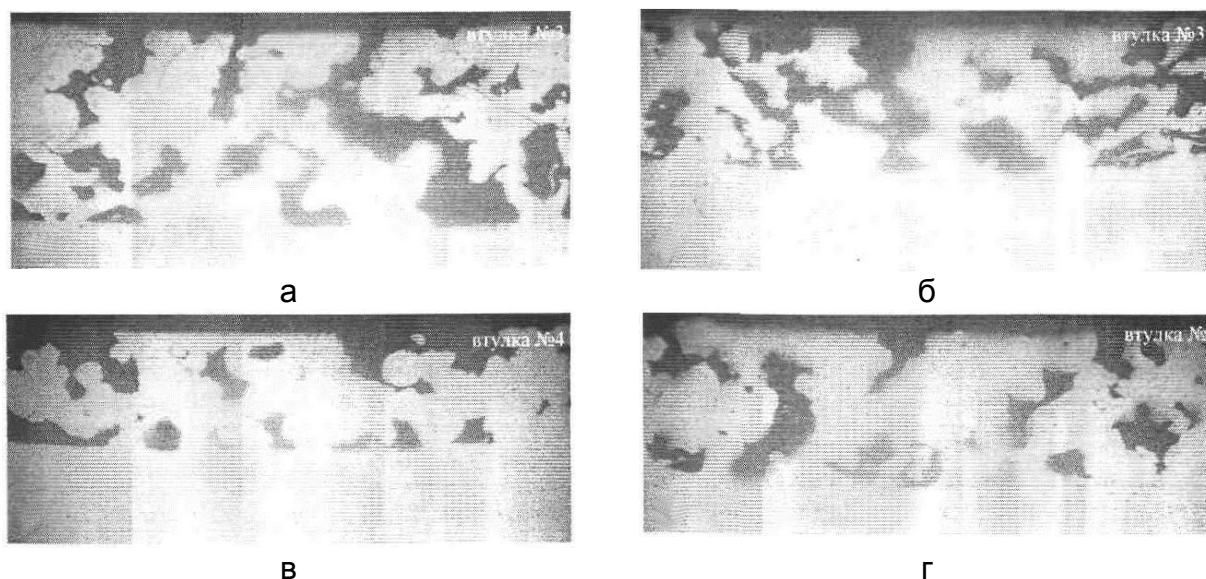


Рис. 6. Микроструктура втулок: а, в – зоны без выработки; б, г – зоны с выработкой (×50)

Таблица 2

Размерные параметры втулок после ресурсных испытаний и втулки,
не подвергнутой ресурсным испытаниям

Номер образца	№ п/п	Толщина, мм			
		Общая	Стенки	Бронзового слоя	Фторопластового слоя
Втулка № 3 Зона без выработки	1	2,48	1,68	0,80	-
	2	2,48	1,64	0,84	-
	3	2,47	1,60	0,87	-
	4	2,43	1,51	0,92	-
	5	2,41	1,50	0,91	-
Втулка № 3 Зона с выработкой	1	2,52	1,74	0,78	-
	2	2,53	1,75	0,78	-
	3	2,54	1,79	0,75	-
	4	2,53	1,81	0,72	-
	5	2,52	1,84	0,68	-
Втулка № 4 Зона без выработки	1	2,50	1,90	0,60	-
	2	2,52	1,92	0,60	-
	3	2,50	1,92	0,58	-
	4	2,50	1,92	0,58	-
	5	2,52	1,92	0,60	-
Втулка № 4 Зона с выработкой	1	2,52	1,78	0,74	-
	2	2,54	1,76	0,78	-
	3	2,54	1,75	0,79	-
	4	2,54	1,79	0,75	-
	5	2,55	1,85	0,70	-
Втулка без испытаний	1	2,57	1,79	0,71	-
	2	2,60	1,75	0,81	-
	3	2,57	1,70	0,87	-
	4	2,48	1,82	0,66	-
	5	2,49	1,84	0,65	-
	6	2,52	1,84	0,65	-
	7	2,48	1,80	0,68	-
	8	2,49	1,79	0,69	-
	9	2,59	1,79	0,80	-
	10	2,48	1,82	0,66	-

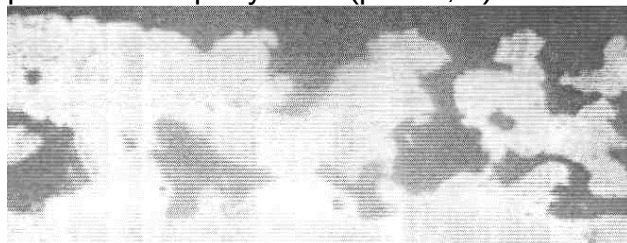
Для сравнительного анализа также исследовали втулку, не подвергнутую ресурсным испытаниям. Поверхность антифрикционного слоя такой втулки показана на рис. 7.

Результаты измерений размерных параметров втулки без испытаний также представлены в табл. 2.



Рис. 7. Вид антифрикционного слоя втулки, не подвергнутой ресурсным испытаниям ($\times 16$)

В микроструктуре втулки без испытаний наблюдаются участки как с фторопластографитовым слоем (рис. 8, а), так и без него и с «притертыми» бронзовыми гранулами (рис. 8, б).



а



б

Рис. 8. Микроструктура втулки, не подвергнутой ресурсным испытаниям ($\times 50$)

Микроструктуры втулок № 3 и № 4 с качественным припеканием бронзового слоя показаны на рис. 9. Здесь наблюдается соединение гранул между собой и с основой, что соответствует требованиям инструкции.



а



б

Рис. 9. Микроструктуры втулок с качественным припеканием бронзовых гранул:
а – зона с выработкой втулки № 3; б – зона без выработки втулки № 4 ($\times 50$)

Фторопластографитовая композиция проникает в поры между бронзовыми гранулами не по всей толщине напеченного бронзового слоя. У втулки № 3 в исследуемом сечении поры, прилегающие к основе, не заполнены фторопластографитовой композицией (рис. 10, а). В исследуемом сечении втулки № 4 поры у основы, не заполненные фторопластографитовой композицией, занимают $\sim 1/3$ площади шлифа (рис. 10, б), а у втулки без испытаний занято $\sim 1/2$ площади шлифа (рис. 10, в).

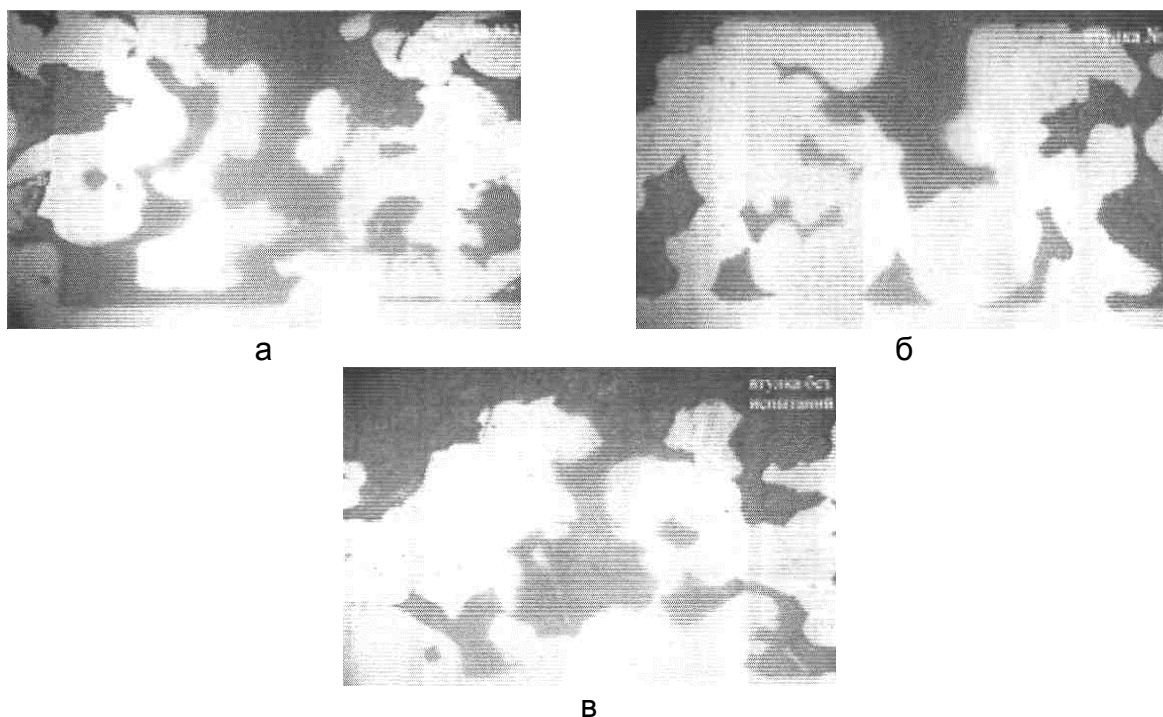


Рис. 10. Микроструктуры втулок с разным качеством заполнения пор фторопластографитовой композицией (х 100): а – зона без выработки втулки № 3; б – зона без выработки втулки № 4; в – втулка без испытаний

После травления реактивом «Б» (3% FeCl_3 в 10 %-ном водном растворе РСД) в микроструктуре бронзового слоя втулок наблюдаются выделения голубоватого цвета – предположительно, оловянистые (рис. 11).

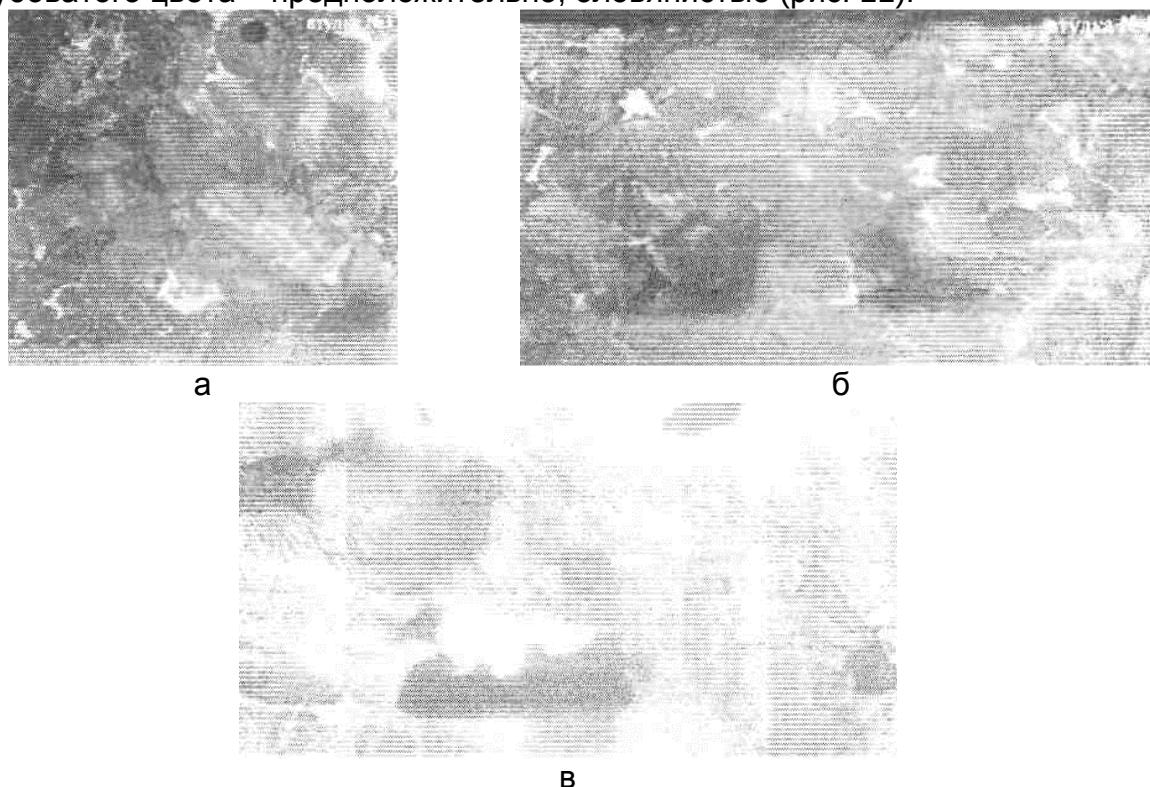


Рис. 11. Микроструктуры бронзового слоя (шлифы с травлением) (х100): а – втулка № 3; б – втулка № 4; в – втулка без испытаний

Выводы

1. Спеченные втулки 40-18-ОСТ1 00287-78 из материала БФГ-50М выдержали без замечаний комплекс испытания в объеме требований ОСТ1 00536-78.

2. На основании результатов металлографических исследований и положительных результатов испытаний по программе ОСТ1 00536-78 спеченные втулки из материала БФГ-50М можно рекомендовать для замены некоторых цельнотянутых втулок из металлофторопласта.

3. Ввиду отсутствия предприятий-изготовителей МФЛ в Украине организация собственного производства спеченных втулок из материала БФГ-50М обеспечит независимость ГП «Антонов» от импортных производителей и поставщиков МФЛ.

4. Хотя стоимость втулки 40-18-ОСТ1 00287-78 из материала БФГ-50М на данном этапе в ~ 1,13 раза выше стоимости аналогичной втулки из МФЛ, по расчетам специалистов, есть основание считать, что она существенно снизится вследствие применения бронзовой трубы вместо бронзового прутка; увеличения количества спекаемых деталей (садки печи); снижения трудоемкости механической обработки, а также того, что технология порошковой металлургии обеспечивает 100 % - ный выход готовых деталей и не требует использования большого количества оснасток (переходов), как это необходимо в случае технологии холодной штамповки (свертывания) и глубокой вытяжки, что также способствует снижению стоимости спеченных втулок.

Список литературы

1. Бычков, А. С. Исследование эксплуатационных характеристик втулок из антифрикционного самосмазывающегося материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии. Сообщение 1. Технология изготовления. Металлографическое исследование заготовок втулок [Текст] / А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко, И. М. Ромашко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х.: ХАИ, 2017. – Вып. 76. – С. 86 – 100.

2. Порошковые материалы для авиационной и ракетно-космической техники [Текст] / А. А. Коцюба, А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко, И. Г. Лавренко. – К.:КВИЦ, 2016. – 304 с.

3. Конструкционные материалы в самолетостроении [Текст] / А. Г. Моляр, А. А. Коцюба, А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко. – К.: КВИЦ, 2015. – 400 с.

4. Исследование характеристик металлофторопласта различных производителей для элементов авиационных конструкций [Текст] / С. А. Бычков, И. Г. Лавренко, О. Ю. Нечипоренко и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х., 2013. – Вып. 59. – С. 343 – 353.

5. Состояние вопроса и перспективы применения МФЛ новых производителей в узлах трения самолетов [Текст] / С. А. Бычков, А. Г. Лавренко О. Ю. Нечипоренко и др. // Технологические системы. – 2014. – №4(69). – С. 9 – 21.

Поступила в редакцию 30.05.17.

**Дослідження експлуатаційних характеристик втулок
з антифрикційного самозмащувального матеріалу
БФГ-50М, виготовленого методом порошкової металургії
Повідомлення 2. Випробування втулок із матеріалу БФГ-50М,
що виготовлені методом порошкової металургії**

Наведено позитивні результати випробувань втулок з антифрикційного самозмащувального матеріалу БФГ-50М, що виготовлені методом порошкової металургії на призначений ресурс, стійкість при циклічних змінах температури і залишкову деформацію, а також металографічні дослідження втулок після ресурсних випробувань. Рекомендовано організацію власного виробництва втулок із матеріалу БФГ-50М на ДП «Антонов» у порядку імпортозаміщення від зарубіжних виробників і постачальників, що раніше застосовувалися в літаках вітчизняного виробництва втулок із матеріалу МФЛ.

Ключові слова: випробування втулок з антифрикційного матеріалу БФГ-50М, метод порошкової металургії.

**Investigation of the Performance Characteristics of Bushings
of Antifriction Self-Lubricating Material BFG-50M,
Manufactured by the Powder Metallurgy Method
Message 2. Testing of Bushings Made of BFG-50M Material,
which are Manufactured by the Powder Metallurgy Method**

Positive results of tests of bushings made of antifriction self-lubricating material BFG-50M made by the powder metallurgy method for the assigned life, stability under cyclic temperature changes and residual deformation, and also metallographic studies of bushings after resource tests are presented. It is recommended to organize own production of bushings from BFG-50M material to GP Antonov in the order of import substitution from foreign manufacturers and suppliers of bushings of MFF material previously used in domestic aircraft.

Keywords: testing of bushings from BFG-50M antifriction material, method of powder metallurgy.

Сведения об авторах:

Бычков Андрей Сергеевич – Государственный научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр МВД Украины, г. Киев, Украина

Нечипоренко Ольга Юрьевна – канд. техн. наук, ведущий инженер, Государственное предприятие «Антонов», г. Киев, Украина.

Ромашко Иван Михайлович – канд. техн. наук, ведущий инженер, Государственное предприятие «Антонов», г. Киев, Украина.