

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

### Сообщение 1. Технология изготовления.

#### Металлографические исследования заготовок втулок

*Государственное предприятие «Антонов», г. Киев, Украина*

В целях импортозамещения в самолетах Государственного предприятия «Антонов» металлофторопластовых втулок из материала МФЛ проведен первый этап исследования эксплуатационных характеристик втулок из материала отечественного производства БФГ-50М. Описан технологический процесс и представлены результаты металлографического исследования заготовок втулок.

**Ключевые слова:** антифрикционные металлофторопластовые втулки из материала БФГ-50М, технология изготовления, металлографическое исследование заготовок.

#### Введение

Как неоднократно отмечалось в наших работах [1–3], основной причиной выхода из строя деталей и агрегатов самолета является их износ. Причем около 75% случаев выхода из строя узлов трения обусловлено износом именно трибопар. Если учесть, что система управления самолетом, шасси, гидросистема и т.д. – это системы, работающие вследствие перемещения их элементов, то становится понятным важность обеспечения их надежного функционирования.

Одним из эффективных способов защиты деталей авиационной и ракетно-космической техники от коррозии и износа (в парах трения, при газо- и гидроабразивном износе, усталостном разрушении поверхностных слоев, фреттинг-коррозии, кавитации, коррозионно-механическом износе) являются газотермические порошковые покрытия [2, 3].

В самолетах ГП «Антонов» для узлов трения скольжения традиционно применяют цельнотянутые и свертные втулки с фланцем и без фланца, изготавливаемые из металлофторопластовой ленты (МФЛ). Количество металлофторопластовых втулок в одном самолете достигает сотен, а иногда и тысяч штук. Так, например, общее число цельнотянутых металлофторопластовых втулок с фланцем по ОСТ 1 12521-76, применяемых в одной лишь системе управления механизацией крыла, приведено в табл. 1.

Таблица 1

Применение цельнотянутых металлофторопластовых втулок  
в системе управления механизацией крыла в самолетах «Ан»

Количество металлофторопластовых втулок в самолетах, шт.					
Ан-124		Ан-70		Ан-140	Ан-148, Ан-158, Ан-178
предкрылки	закрылки	предкрылки	закрылки	закрылки	
736	468	364	320	126	
Всего – 1204		Всего – 684		Всего -126	Всего – 560

Металлофторопластовые втулки (подшипники) обладают высокими антифрикционными свойствами в диапазоне температур от  $-200$  до  $+280$  °С, работоспособны в вакууме, жидких средах, не обладающих смазочным действием; несущая способность составляет  $PV=1,5$  МПа·м/с; они позволяют заменить сложные шарикоподшипниковые узлы. Диаметр этих деталей в два, а масса на порядок меньше по сравнению с традиционными подшипниками качения, при этом исключается использование дорогих легированных сталей. Металлофторопластовые втулки применяют, в основном, в узлах трения, работающих без смазки.

Указанный комплекс свойств втулок обусловлен структурой МФЛ, применяемой для их изготовления. МФЛ представляет собой трехслойную композицию (рис. 1):

– 1-й слой – несущая основа, изготавливаемая из биметаллической омедненной стальной рулонной ленты или полос толщиной  $0,75...2,25$  мм, сваренных в ленту, марок 08кп, 10кп;

– 2-й слой – пористый, толщиной  $0,35 \pm 0,05$  мм, состоящий из сферических частиц оловянистой бронзы с дисперсностью  $80...120$  мкм (допускается  $63...160$  мкм), припеченных с одной стороны к стальной омедненной основе. Поры между бронзовыми гранулами заполнены твердой смазкой. Общий объем пор составляет  $30 \dots 40\%$ .

– 3-й слой – антифрикционный, состоящий из фторопласта, наполненного дисульфидом молибдена, покрывающий тонкой пленкой выступающие вершины сферических частиц бронзы и заполняющий пустоты пористого слоя.

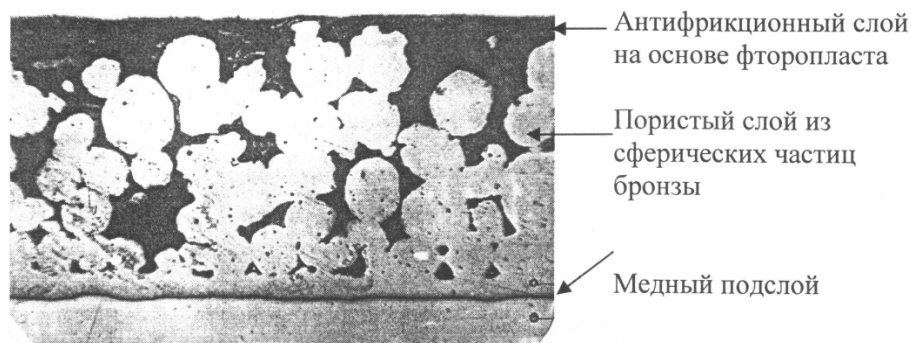


Рис. 1. Типовая микроструктура МФЛ, x100

В настоящее время готовые металлофторопластовые втулки предлагают к поставке ряд поставщиков, в том числе компания НМ Group, филиал которой расположен в Украине (ООО «БтБ», г. Винница) и компания ООО «МАК» (г. Винница). Однако длительный срок изготовления таких втулок (даже без учета времени на приобретение материалов) при заказе их в указанных компаниях для нашего предприятия не приемлем.

Таким образом, приобретение готовых антифрикционных втулок у различных поставщиков, по-видимому, не является оптимальным решением проблемы.

### Постановка задачи исследований

Для оценки возможности замены импортных поставщиков МФЛ в ГП «Антонов» были проведены исследования и испытания МФЛ производства Словакии, Китая, Италии. Полученные результаты опубликованы в [4, 5].

Установлено, что все исследованные МФЛ также имеют некоторые отклонения от требований, принятых в авиастроении, по размерным и структурным параметрам.

Однако применение как покупных антифрикционных втулок, так и МФЛ различных производителей имеет один существенный недостаток – зависимость от импортного поставщика. Решением данной проблемы может стать собственное производство антифрикционных материалов для замены МФЛ.

В качестве альтернативного металлофторопласту материала предлагается исследовать материал БФГ-50М. Материал БФГ-50М был разработан в ГП «Антонов» совместно с Институтом проблем материаловедения НАН Украины. Как и МФЛ, материал БФГ-50М представляет собой трехслойную композицию:

- 1-й слой – несущая основа, изготавливаемая из бронзы марки БрОФ7-0,2(ГОСТ 10025-78);

- 2-й слой – пористый толщиной до 500 мкм, состоящий из несферических частиц припеченной оловянистой бронзы (ТУ 086-001-83Э);

- 3-й слой – антифрикционный, представляющий собой композицию на основе фторопласта 4Д (ТУ 6-05-1246-81) и наполнителя – графита марки ГК-1, ГК-2 (ГОСТ 4404-78) .

Именно сходство структуры МФЛ и БФГ-50М, – оба материала каркасного типа, содержащие фторопласт, – позволяет рассматривать их как аналоги. Оба материала имеют припеченный пористый слой, состоящий из частиц оловянистой бронзы. Однако у МФЛ он сформирован сферическими частицами, а БФГ-50М – несферическими.

Материал БФГ-50М также имеет сходный с МФЛ антифрикционный слой на основе фторопласта. Отличие между МФЛ и БФГ-50М состоит в типе используемого наполнителя: в первом случае – это дисульфид молибдена, в случае БФГ-50М – это графит. Оба наполнителя относятся к смазкам со слоистым строением и отличаются низким коэффициентом трения.

Установлено [6], что свойства фторопласта, наполненного графитом, не хуже свойств фторопласта, наполненного дисульфидом молибдена, при этом стоимость графита значительно меньше. Кроме того, дисульфид молибдена более чувствителен к изменению окружающих условий, что вызывает изменение свойств наполненного фторопласта и ограничивает его применение. Графит улучшает теплопроводность и антифрикционные свойства фторопластовых композиций и позволяет увеличить удельные нагрузки при трении скольжения. Таким образом, выбор графита в качестве наполнителя для фторопласта в материале БФГ-50М продиктован его дешевизной, доступностью и способностью обеспечивать максимальный эффект при трении материалов без смазки [1 – 2, 6].

В материале БФГ-50М несущую основу изготавливают из бронзы марки БрОФ7-0,2, в МФЛ – из низкоуглеродистой стали марок 08кп или 10кп.

В отличие от сталей 08кп и 10кп оловянно-фосфористая бронза БрОФ7-0,2 относится к антифрикционным материалам и предназначена для изготовления деталей, работающих на трение при средних нагрузках и скоростях скольжения [7].

Физические свойства бронзы БрОФ7-0,2:

- плотность  $d = 8800 \text{ кг/м}^3$ ;

- температурный коэффициент линейного расширения  $\alpha = 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}$  (в интервале температур 20...300°C);

- коэффициент теплопроводности  $\lambda = 62,8 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ ;

- удельное электросопротивление  $\rho = 13,0 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ;

– удельная теплоемкость  $c = 0,377$  кДж/кг·град [7].

Бронза БрОФ7-0,2 обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и морской воде. Материал хорошо обрабатывается резанием, что имеет важное значение при изготовлении несущей основы и окончательной механической обработке спеченных заготовок БФГ-50М [7].

Использование бронзы БрОФ7-0,2 в качестве материала основы антифрикционных композиционных материалов более предпочтительно по антифрикционным, коррозионным и прочностным свойствам по сравнению со сталями 08кп и 10кп.

Результаты сравнительных триботехнических испытаний материала БФГ-50М и МФЛ производства Климовского машиностроительного завода представлены в табл. 2. Как видно, материал БФГ-50М имеет лучшие триботехнические характеристики во всем диапазоне нагрузок по сравнению с МФЛ.

Таблица 2  
Результаты триботехнических испытаний материала БФГ-50М и МФЛ [6]

Материал	$P$ , кг/см <sup>2</sup>	Путь трения, км									
		1		2		3		4		5	
		$\mu$	$l$ , мкм/ км	$\mu$	$l$ , мкм/ км	$\mu$	$l$ , мкм/ км	$\mu$	$l$ , мкм/ км	$\mu$	$l$ , мкм/ км
БФГ-50М	50	0,13	30	0,12	52	0,10	77	0,10	102	0,10	130
МФЛ		0,12	30	0,12	65	0,13	95	0,13	125	0,13	160
БФГ-50М	100	0,12	40	0,12	85	0,11	125	0,10	165	0,10	200
МФЛ		0,12	45	0,13	9,5	0,11	145	0,18	200	0,20	275
БФГ-50М	150	0,10	65	0,09	125	0,10	185	0,10	245	0,11	280
МФЛ		0,34	230	0,45	580	-	-	-	-	-	-

Примечание:  $P$  – удельная нагрузка;  $\mu$  – коэффициент трения;  $l$  – линейный износ.

Материал БФГ-50М сочетает в себе высокую несущую способность металлического каркаса и высокие антифрикционные свойства фторопласта с наполнителем. Такой материал воспринимает удельные нагрузки до 100 МПа при относительной скорости скольжения до 1 м/с. Коэффициент трения составляет 0,06...0,009.

Материал БФГ-50М был разработан, в первую очередь, для изготовления антифрикционных деталей со сложной поверхностью трения, применяемых в винтовых самосмазывающихся «сухих» парах трения скольжения (рис. 2, а). Номенклатура изготавливаемых гаек из материала БФГ-50М составляет от Трап. 10x4 кл.3 до Трап. 48x5 кл.3 при высоте гайки до 150 мм. Использование гаек из самосмазывающегося материала БФГ-50М позволяет уменьшить вес и габариты узлов трения-скольжения конструкции винтовых механизмов, исключает их смазку и регламентное обслуживание. Такие узлы трения отличаются плавной работой, стабильностью коэффициента трения, интенсивности изнашивания и коэффициента полезного действия в широком интервале температур (от -60 до 250°C) и вибраций (до 35 Гц) [7].

Кроме деталей трения со сложной конфигурацией, из материала БФГ-50М также изготавливают втулки различных диаметров с внутренней и наружной

поверхностями трения, шайбы упорные, ползуны, опоры, ходовые ролики, вкладыши и другие детали трения, работающие без смазки или в условиях ограниченной подачи смазки (рис. 2, б).

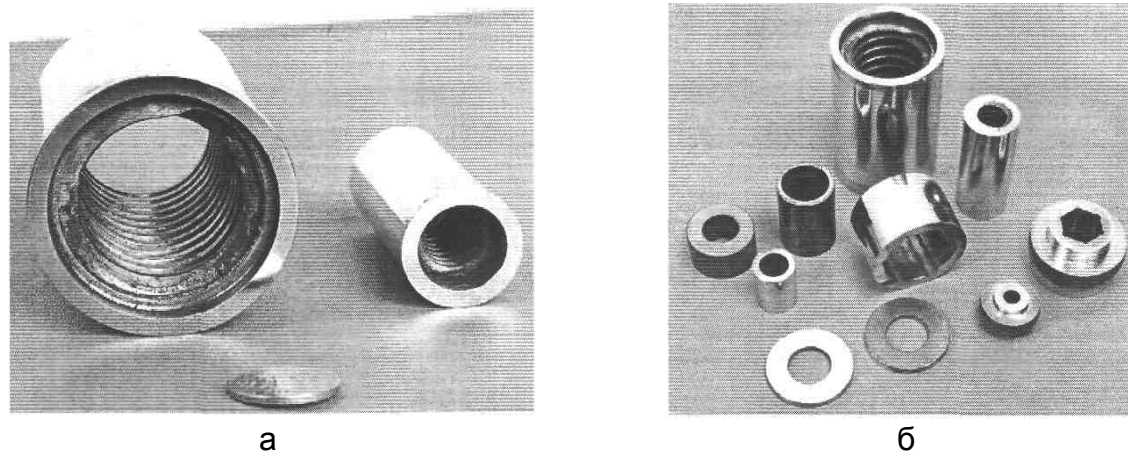


Рис. 2. Детали из материала БФГ-50М

Впервые детали из материала БФГ-50М были внедрены на самолете Ан-72 в тяжело нагруженных узлах трения. В настоящее время детали из материала БФГ-50М применяют в самолетах Ан-72, Ан-74, Ан-70, Ан-124, Ан-140, Ан-148, Ан-158 (табл. 3).

Таблица 3

Применение деталей из материала БФГ-50М в узлах трения самолетов «Ан»

Наименование	Ан-74	Ан-140	Ан-70	Ан-148	Ан-124
Втулка	3	-	14	-	76
Шайба	-	-	4	4	-
Опора	-	-	-	-	4
Вкладыш	-	-	-	-	2
Ползуны	2	-	2	-	8
Гайка	8	2	14	2	-
Ролик ходовой	8	-	-	-	-

Несмотря на положительный опыт эксплуатации деталей из материала БФГ-50М в узлах трения самолетов, этот материал ранее не рассматривался с точки зрения возможности использования его для изготовления втулок взамен цельнотянутых из металлофторопласта. Для оценки эффективности и целесообразности такой замены предполагается проведение испытания втулок из материала БФГ-50М на соответствие их требованиям ОСТ1 00536-78 «Втулки свертные из металлофторопласта».

ГП «Антонов» располагает собственным производством деталей из материала БФГ-50М в Лаборатории порошковой металлургии (ЛПМ).

По сравнению с традиционной технологией производства втулок из металлофторопласта методом глубокой вытяжки технология порошковой металлургии имеет ряд преимуществ, а именно:

- сравнительная простота технологии, отсутствие большого числа переходов, как при вытяжке втулок;
- простота применяемой оснастки;
- возможность одновременного спекания большого количества заготовок

штулок одного или нескольких типоразмеров в зависимости от садки печи;

- возможность удаления припеченного пористого слоя в случае дефектов и повторного его припекания;
- 100%-ный выход готовой продукции;
- отсутствие ограничений в соотношении высоты и диаметра спеченных штулок;
- возможность оперативного изготовления требуемых штулок благодаря организации собственного производства.

Технология изготовления спеченных штулок из материала БФГ-50М в соответствии с ОСТами, действующими на металлофторопластовые штулки, вписывается в существующий технологический процесс в ЛПМ, не требует приобретения специального оборудования и ограничивается лишь наличием соответствующей оснастки. Исходные материалы для производства спеченных штулок доступны для приобретения.

### **Технология изготовления штулок из материала БФГ-50М**

Для изготовления штулок из материала БФГ-50М применяли следующее основное и вспомогательное оборудование, имеющееся в ЛПМ: печь для спекания; пресс для калибровки; сушильный шкаф; вытяжной шкаф; сита для просева порошка; весы технические; вибростол для засыпки порошка в полость оснастки.

Технологическая схема изготовления штулок из самосмазывающегося антифрикционного материала БФГ-50М методом порошковой металлургии показана на рис. 3.

#### **1. Подготовка бронзового порошка**

Бронзовый порошок (ТУ 086-001-83Э) просеивают на ситах через сетки № 0315, № 02, № 01 (ГОСТ 6613-86). Для формирования пористого слоя применяют порошок, прошедший через сетку № 02 и оставшийся на сетке № 01.

Просеянный бронзовый порошок помещают в плотно закрывающуюся тару (с указанием наименования порошка и номера сита, через которое он просеян) и хранят в сухом помещении.

#### **2. Изготовление заготовок несущей основы**

Заготовку несущей основы штулок изготавливали из прутков бронзы марки БрОФ7-0,2(ГОСТ 10025-78) механической обработкой согласно чертежам заготовок.

Технология порошковой металлургии позволяет изготавливать спеченные заготовки из материала БФГ-50М, предназначенные для изготовления из них штулок с фланцем и без фланца. В первом случае бронзовая заготовка представляет собой толстостенную штулку с наружным диаметром, достаточным для изготовления фланца при последующей механической обработке. При этом на одном торце штулки делается углубление на толщину слоя припеченного бронзового слоя. Во втором случае бронзовая заготовка представляет собой тонкостенную штулку, толщина стенки которой несколько больше окончательного размера для обеспечения жесткости при калибровке и исключения возможных поводов при термической обработке.

Для формирования на внутренней поверхности штулки пористого слоя, пропитанного фторопластографитовой суспензией, бронзовые заготовки штулки изготавливают с занижением по внутреннему диаметру на толщину слоя.

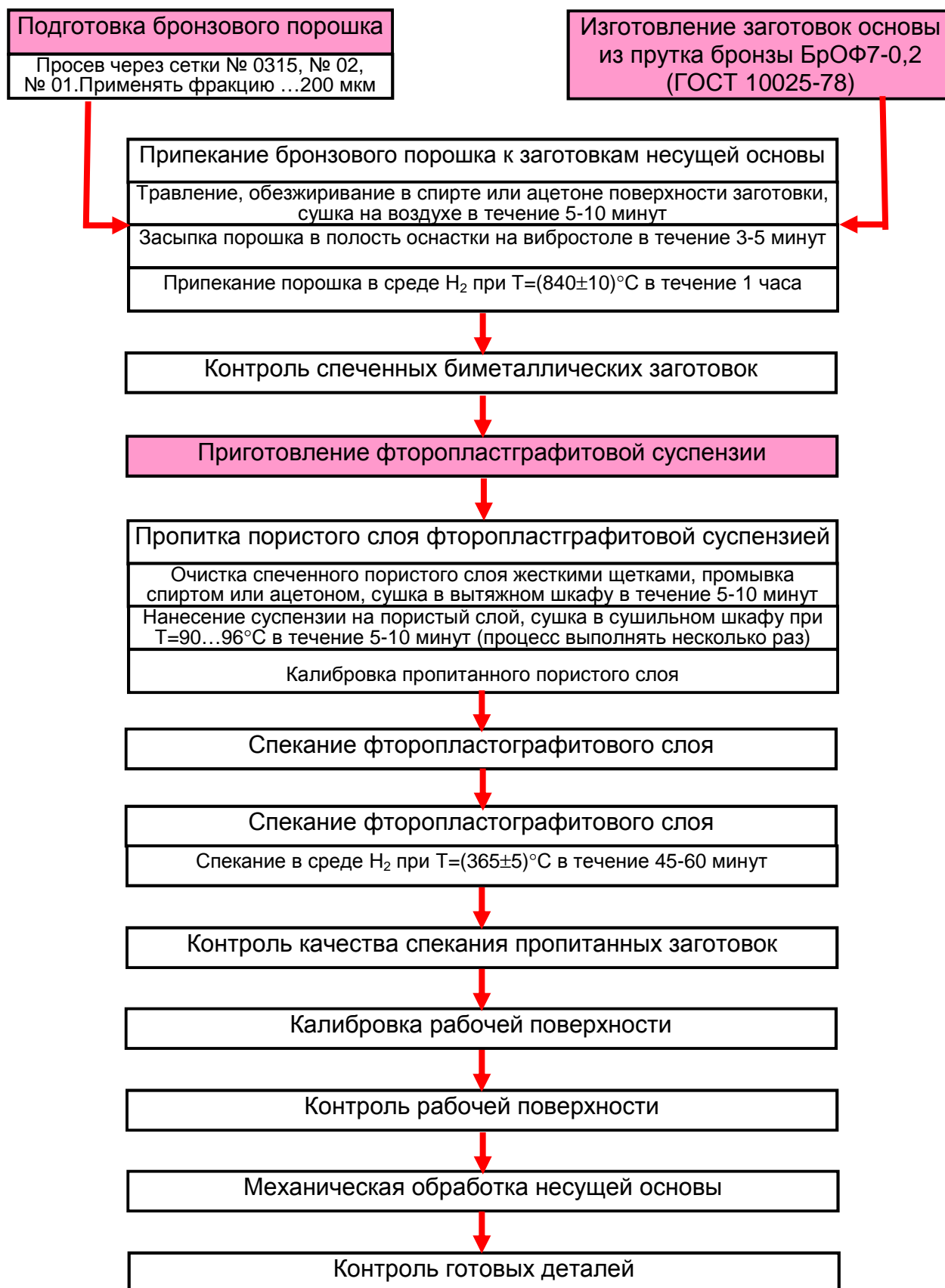


Рис. 3. Технологическая схема изготовления деталей из материала БФГ-50

### **3. Припекание бронзового порошка к заготовкам несущей основы**

Припекание бронзового порошка к заготовкам несущей основы выполняли в оснастке, спроектированной и изготовленной в соответствии с требованиями инструкции. Оснастка обеспечивает заданную чертежом конфигурацию и толщину пористого бронзового слоя, равную 0,5 мм (с учетом усадки при спекании).

Перед сборкой оснастки с заготовкой поверхность заготовки, на которую напекается бронзовый порошок, обезжиривали спиртом (ГОСТ 5962-67 или ГОСТ 18300-87) или ацетоном (ГОСТ 2768-84) и сушили на воздухе в течение 5-10 минут.

Перед первым применением оснастки кистью наносили слой коллоиднографитового препарата В-1 (ТУ 113-08-48-62-90) на поверхности оснастки, контактирующей с бронзовым порошком и заготовкой. Для этого оснастку предварительно нагревали в сушильном шкафу до температуры 70...90°C.

Бронзовый порошок засыпали в полость оснастки, предназначенной для формирования пористого слоя на вибростоле в течение 3-5 минут до полного заполнения полости порошком.

Припекание бронзового порошка к поверхности заготовки несущей основы выполняли следующим образом:

- собранную оснастку (с заготовками несущей основы и засыпанным бронзовым порошком) помещали в лодочки и устанавливали в муфель для спекания;

- муфель продували азотом (ГОСТ 9293-74) и включали подачу водорода (ГОСТ 3022-80) в соответствии с требованиями; водород перед использованием обезвоживали с помощью силикогеля;

- подготовленный к спеканию муфель устанавливали в печь, предварительно нагретую до температуры 300°C; время нагрева муфеля до температуры спекания 2,5...3,0 часа;

- нагрев, выдержка при температуре спекания и охлаждение до температуры 80...90° С осуществлялись в среде водорода; заготовки деталей спекались при температуре  $(840 \pm 10)^\circ \text{C}$  в течение часа;

- после спекания муфель извлекали из печи, не отключая водород, и охлаждали на воздухе до температуры 80...90° С; затем водород отключали, муфель продували азотом, вынимали и разбирали оснастку со спеченными биметаллическими заготовками (скорость охлаждения муфеля до температуры 200° С – 1,5...4,0° С/мин, далее – произвольно).

### **4. Контроль спеченных биметаллических заготовок**

Толщина припеченного пористого слоя обеспечивается зазором в оснастке для спекания, поэтому на спеченной биметаллической заготовке не контролируется.

Спеченные биметаллические заготовки подвергали 100 %-ному визуальному контролю. Спеченные заготовки не имели трещин, сколов, раковин, оксидных пленок и других дефектов. На поверхности пористого слоя отсутствовали отслоения бронзового порошка от заготовки несущей основы и посторонние включения.

Качество припекания пористого бронзового слоя к заготовке несущей основы проверяли на 100 % заготовок методом пробы – соскабливанием частиц пористого слоя тонким острым предметом (типа толстой иглы или тонкого шила) в двух-трех местах заготовки детали площадью 1 мм<sup>2</sup>. При этом выкрашивания,



отслаивания и осыпания пористого слоя от заготовки несущей основы не происходило.

Контроль макроструктуры пористого слоя выполняли визуально на 100 % спеченных заготовок деталей. Оплавления частиц порошка и затягивание пор не наблюдалось (допускается частичное оплавление частиц порошка на площади 1...2 мм<sup>2</sup> без затягивания пор не более, чем в трех местах на площади 10 см<sup>2</sup>).

Биметаллические заготовки деталей, прошедшие контроль, помещали в ящики во избежание повреждения поверхности пористого слоя.

### **5. Приготовление фторопластографитовой суспензии**

Фторопластографитовую суспензию готовили из водной суспензии фторопласта 4Д (ТУ 6-05-1246-81) и графита марки ГК-1, ГК-2 (ГОСТ 4404-78) из расчета 1,0 кг водной суспензии фторопласта (в расчете на сухой остаток фторопласта 60 %) и 0,6 кг графита (соотношение сухого остатка фторопласта и графита должно составлять 1:1).

Для изготовления фторопластографитовой суспензии в водную суспензию фторопласта 4Д добавляли малые порции порошка графита при постоянном перемешивании. В полученную смесь добавляли воду до получения фторопластографитовой суспензии сметанообразной консистенции.

### **6. Пропитка пористого слоя фторопластографитовой суспензии**

Пористый слой, подлежащий пропитке, очищали жесткими щетками и промывали спиртом или ацетоном, затем сушили в вытяжном шкафу в течение 5-10 мин.

Пропитка спеченных заготовок фторопластографитовой суспензией выполняли следующим образом:

- наносили суспензию кистью на поверхность с припеченным пористым слоем заготовки втулки;
- проводили сушку нанесенного слоя суспензии в сушильном шкафу при температуре 90...96° С в течение 5-10 минут. Процесс нанесения и сушки фторопластографитовой суспензии выполнялся несколько раз до получения равномерного покрытия ею пористого бронзового слоя;
- после окончательной сушки нанесенных слоев фторопластографитовой суспензии проводили калибровку пропитанного пористого слоя с помощью оснастки для калибровки.

Поверхность бронзового слоя была равномерно покрыта слоем фторопластографитовой суспензией. Места, не покрытые и не пропитанные фторопластографитовой суспензией, а также вздутия и шелушения отсутствовали.

### **7. Спекание фторопластографитового слоя**

Спекание фторопластографитового слоя выполняли следующим образом:

- заготовки деталей, пропитанные фторопластографитовой суспензией, помещали в лодочки и устанавливали в муфель для спекания;
- муфель продували азотом и включали подачу водорода; водород перед использованием обезвоживали с помощью силикагеля;
- подготовленный к спеканию муфель устанавливали в печь;
- нагрев, выдержка при температуре спекания и охлаждение до температуры 80...90° С осуществляли в среде водорода; пропитанные заготовки деталей спекались при температуре 365 ± 5° С в течение 45-60 минут;

– после спекания муфель извлекали из печи без отключения водорода и охлаждали на воздухе до температуры 80...90° С; затем водород отключался, муфель продували азотом и извлекали биметаллические заготовки деталей со спеченным фторопластографитовым слоем.

#### **8. Контроль качества спекания пропитанных заготовок деталей**

Визуальному контролю подвергали 100% спеченных заготовок деталей. На поверхности фторопластографитового слоя отсутствовали отслоения, шелушения, раковины и другие дефекты.

#### **9. Калибровка рабочей поверхности**

После термической обработки заготовок втулок выполняли калибровку их рабочей поверхности на гидравлическом прессе с помощью оснастки, спроектированной и изготовленной в соответствии с требованиями инструкции. Оснастка для калибровки представляет собой иглу из стали ХВГ, закаленной на HRC 55-59. Для обеспечения окончательного размера внутреннего диаметра заготовок использовали иглы двух переходов; для калибровки фланца применяли специальные кольца.

Перед калибровкой оснастку смазывали маслом (ГОСТ 20799-88). При необходимости после калибровки заготовки деталей обезжиривали спиртом или ацетоном.

#### **10. Контроль рабочей поверхности**

Визуальному контролю и контролю размеров рабочих поверхностей подвергались 100% заготовок деталей после калибровки. На рабочей поверхности отсутствовали отслоения фторопластографитового слоя от металлической основы, несплошности фторопластографитового слоя, трещины и другие дефекты.

Контроль размеров рабочих поверхностей заготовок выполняли с помощью штангенциркуля (ГОСТ 166-89), микрометра (ГОСТ 6507-90).

#### **11. Механическая обработка несущей основы**

Механическую обработку несущей основы (без фторопластографитового слоя) выполняли на стандартном металлорежущем оборудовании. Рабочая поверхность заготовок втулок с пористым бронзовым слоем, пропитанным фторопластографитовой композицией, имеет номинальный размер, не подлежит механической обработке и является базой для обработки несущей основы (нетрущихся поверхностей).

#### **12. Контроль готовых деталей**

В результате выполненной работы из материала БФГ-50М были изготовлены следующие втулки:

- 40-18-ОСТ1 10287-78 – 22 шт. (рис. 4);
- 40-18-ОСТ1 10289-78 – 3 шт. (рис. 5);
- 2-ОСТ1 12521-76 – 10 шт.;
- 4-ОСТ1 12521-76 – 10 шт.

Визуальному контролю подвергались 100 % готовых втулок. На границе «несущая основа-антифрикционный слой» отсутствовали отслаивания антифрикционного слоя от несущей основы. На поверхности антифрикционного

слоя отсутствовали растрескивания и шелушения фторопластографитового слоя. Просвечивание частиц бронзы на поверхности рабочего слоя допускается.

Контроль размеров 100% готовых деталей выполняли с помощью штангенциркуля, микрометра. Часть спеченных втулок 40-18-ОСТ1 10287-78 (10 шт.) и 40-18 - ОСТ1 10289-78 (2 шт.) также прошла контроль размеров внутреннего диаметра.



Рис. 4. Спеченные втулки 40-18-ОСТ1 10287-78 из материала БФГ-50М

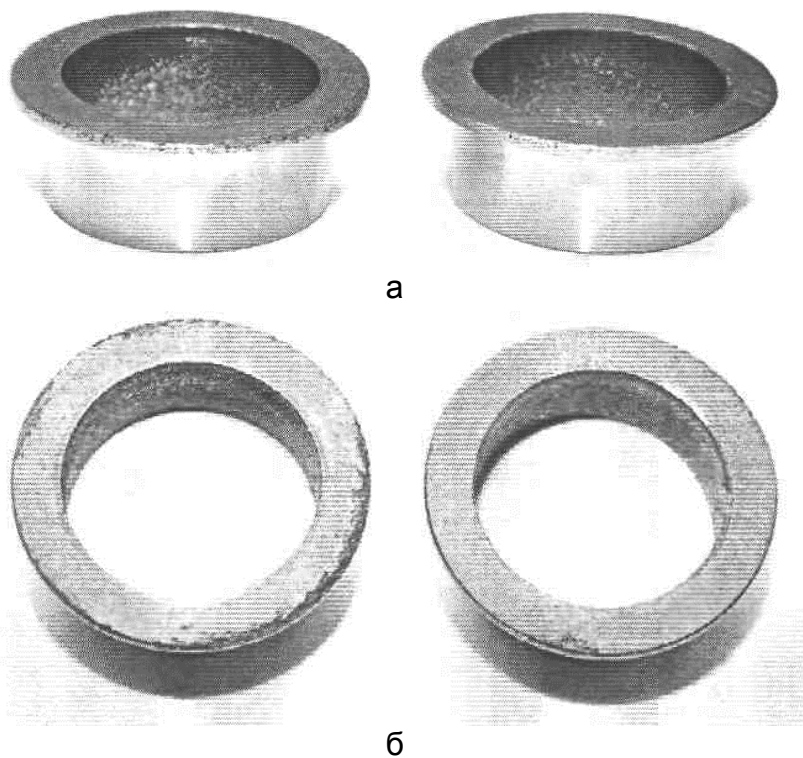


Рис. 5. Спеченные втулки 40-18-ОСТ1 10289-78 из материала БФГ-50М: а – общий вид; б – вид фланца с припеченным антифрикционным слоем

**Металлографическое исследование заготовок втулок из материала БФГ-50М**

Металлографическое исследование проводили на спеченной заготовке втулки 40-18-ОСТ1 10289-78 до ее окончательной механической обработки в соответствии с требованиями производственных инструкций.

Поскольку исследуемая заготовка предназначена для изготовления втулки с фланцем, то измерение толщины пористого бронзового и фторопластографитового слоев проводили как по внутреннему диаметру, так и на торце втулки.

Для исследования антифрикционного слоя втулку разрезали вдоль на два образца. Образец № 1 исследовали в продольном направлении, образец № 2 – в поперечном. Результаты измерений размерных параметров пористого бронзового и фторопластографитового слоев представлены в табл. 4.

Таблица 4

Размерные параметры спеченной заготовки втулки 40-18 ОСТ1 10289-78

Номер образца	№ п/п	Толщина, мм			
		Бронзового слоя	Фторопластографитового слоя	Бронзового слоя	Фторопластографитового слоя
		Торец		Внутренний диаметр	
1	1	0,65	0,15	0,45	0,15
	2	0,56	0,27	0,50	0,30
	3	0,66	0,16	0,53	0,10
2	1	-	-	0,47	0,05
	2	-	-	0,50	0,04
	3	-	-	0,50	0,05

Микроструктуры образцов в различных сечениях спеченного материала БФГ-50М показаны на рис. 6. Как видно, микроструктура материала БФГ-50М несколько отличается от таковой для МФЛ (рис. 1) в связи с различной формой частиц припеченного бронзового порошка.

В микроструктуре втулки наблюдается соединение бронзовых гранул между собой и с основой (имеются соединительные шейки), что соответствует технологическим требованиям (рис. 6, г).

В соответствии с требованиями инструкции при визуальном контроле (допускается увеличение  $\times 50$ ,  $\times 100$ ) макроструктуры спеченных биметаллических заготовок не должно наблюдаться оплавление частиц порошка бронзы и затягивания пор. Разрешается частичное оплавление частиц порошка на площади  $1...2 \text{ мм}^2$  без затягивания пор не более чем в трех местах на площади  $10 \text{ см}^2$ . Микроструктура материала БФГ-50М соответствует указанному техническому требованию.

Фторопластографитовая композиция проникает в поры между гранулами не по всей толщине напеченного бронзового слоя. На отдельных участках втулки имеются поры, прилегающие к основе и не заполненные фторопластом (рис. 7), что допускается технологическими требованиями.

Распределение фторопластографитовой композиции над бронзовыми гранулами неравномерно (рис. 8, табл. 4); по внутреннему диаметру втулки ближе к торцу его больше.

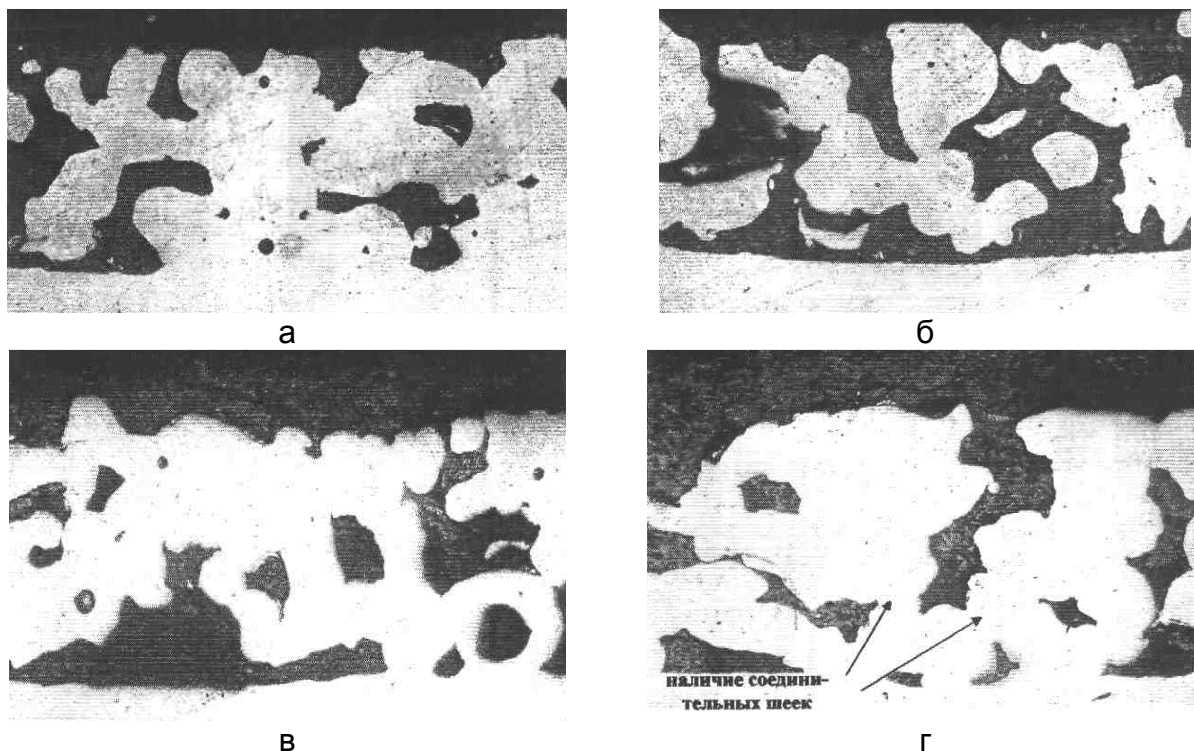


Рис. 6. Микроструктуры образцов спеченной втулки из материала БФГ-50(X/00) – а, б, в и соединительной шейки между бронзовыми гранулами и основой торца втулки – 2 (X100)

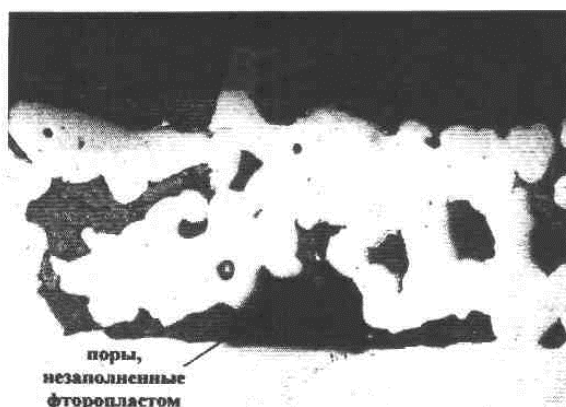


Рис. 7. Поры, не заполненные фторопластографитовой композицией (внутренний диаметр втулки, продольное направление) (x100)

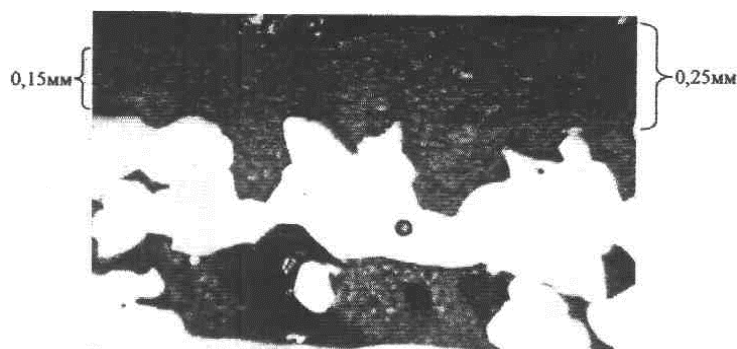


Рис. 8. Неравномерное распределение фторопластографитовой композиции по внутреннему диаметру втулки (продольное направление) (x100)

### Выводы

1. Приведена технология формирования заготовок втулок из антифрикционного материала БФГ-50М, планируемого на замену традиционно используемой на ГП «Антонов» металлофторопластовой ленты (МФЛ) в плане импортозамещения. Технология включает в себя все основные этапы формирования методом порошковой металлургии заготовок и готовых деталей.

2. Реализованы металлографические исследования заготовок втулок из материала БФГ-50М, выявившие в основном соответствие микроструктуры материала техническим требованиям за исключением некоторой неравномерности распределения фторопластографитовой композиции над бронзовыми гранулами по внутреннему диаметру втулки в допустимых пределах.

3. Опытные партии втулок подготовлены к испытаниям на назначенный ресурс, устойчивость при циклических изменениях температуры, остаточную деформацию и металлографические исследования втулок после ресурсных испытаниях.

### Список литературы

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

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

3. Бычков, А. С. Исследование износостойких покрытий на основе карбида вольфрама, наносимых высокоскоростным газопламенным методом HVOF для деталей авиационного назначения [Текст] / А. С. Бычков, А. А. Коцюба, В. Ю. Потягов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х., 2017. – Вып. 75. – С. 68 – 78.

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. – № 4 (69)/2014. – С. 9 – 21.

6. Семенченко, В. П. Разработка и внедрение композиционных антифрикционных материалов и технологии изготовления из них узлов трения самолетов: дис. ... канд. техн. наук / Семенченко В. П. – К.: ИМП НАН Украины, 1984. – 145 с.

7. Технологические процессы получения деталей самолетов методом порошковой металлургии: учеб пособие [Текст] / В. П. Семенченко, С. Г. Кушнаренко, С. А. Бычков, О. Ю. Нечипоренко. – Харьков: ХАИ, 1992. – 64 с.

Поступила в редакцию 20.03.2017.

## **Дослідження експлуатаційних характеристик втулок з антифрикційного самозмащувального матеріалу БФГ-50М, виготовленого методом порошкової металургії**

### **Повідомлення 1. Технологія виготовлення.**

#### **Металографічні дослідження заготовок втулок**

З метою імпортозаміщення в літаках Державного підприємства «Антонов» металофторопластових втулок із матеріалу МФЛ проведено перший етап дослідження експлуатаційних характеристик втулок із матеріалу вітчизняного виробництва БФГ-50М. Наведено детальний технологічний процес і подано результати металографічного дослідження заготовок втулок.

**Ключові слова:** антифрикційні металофторопластові втулки з матеріалу БФГ-50М, технологія виготовлення, металографічне дослідження заготовок.

## **Investigation of the performance characteristics of bushings of antifriction self-lubricating material BFG-50M, manufactured by the powder metallurgy method**

### **Message 1. Manufacturing technology. Metallographic study of billets blanks**

The first stage of the study of the performance characteristics of bushings from a domestic production BFG-50M With the purpose of import substitution in metal planes of the State Enterprise "Antonov" metal-fluorineplastic bushings from the material MFF. A detailed technological process and the results of the metallographic study of bushing blanks are given.

**Keywords:** antifriction metal-fluorineplastic bushings from BFG-50M material, manufacturing technology, metallographic examination of blanks.

#### **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