

## **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛОСОВОГО АНТИФРИКЦИОННОГО МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОГО МАТЕРИАЛА**

**Ю. Л. БОБАРИКИН, С. В. ШИШКОВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

### **Введение**

Быстрое развитие машиностроения выдвинуло задачу создания антифрикционных материалов, обладающих повышенной износостойкостью, низким значением коэффициента трения, способностью работать при высоких скоростях и больших нагрузках, а также в различных активных средах. Одним из таких материалов является металлофторопластовый композит. Материал представляет собой стальную ленту с напеченными на нее сферическими частицами бронзы. Поры бронзового слоя заполнены фторопластом с присадками, который играет роль смазывающего наполнителя [1].

Процесс производства данного материала разработан английской фирмой «Glacier» [2], существуют другие зарубежные производители аналогичного материала. Например, альтернативную продукцию выпускают российские предприятия, их технология основана на результатах исследований [3]. Процесс осуществляется на полуавтоматических линиях, в несколько этапов:

I. На первой линии поставляемая в рулонах стальная лента разворачивается и правится, обезжиривается, очищается кислотным травлением, электролитически покрывается медью, промывается, сушится и опять сворачивается в бунты.

II. На второй линии, включающей в себя конвейерную печь с восстановительной атмосферой, выполняются операции нанесения частиц бронзы и спекания пористого слоя.

III. На третьей линии производятся операции по заполнению пор фторопластом и калибровки прокаткой до требуемой толщины материала. В результате получают готовый материал в виде металлофторопластовой ленты (МФЛ). Фирма «Glacier» дополнительно наносит антикоррозионное оловянное покрытие на обратную сторону МФЛ.

### **Постановка задачи**

Приведенная известная технология эффективна при массовом производстве. Причем МФЛ выпускается только нескольких типоразмеров и имеет постоянные эксплуатационные характеристики. В настоящее время возникает потребность в подобном материале, который можно было бы выпускать малыми партиями с различными типоразмерами, конфигурацией, а также способностью работы при различных режимах.

В известной технологии изготовления металлофторопластового композита сферические частицы бронзы наносятся на стальную основу свободной насыпкой. После спекания образуется неравномерный слой бронзы с нерегулируемой общей пористостью порядка 30–35 %. Это определяет узкий диапазон рабочих характеристик материала, так как изменение общей пористости бронзового слоя приводит к изменению эксплуатационных свойств композита в целом. Так, увеличение общей пористости, а также увеличение числа открытых пор позволит ввести дополнительное количество фторопласта, что увеличит количество антифрикционного наполнителя в зоне трения. Поэтому для совершенствования этой технологии предлагается использовать метод регулировки пористости бронзового слоя на основе введения в бронзовый слой дополнительных компонентов, образующих дополнительные поры.

В качестве способа нанесения бронзового слоя на стальную основу предложено использовать совместную прокатку порошковой шихты и стальной полосы. Применение данного способа позволит получить равномерный бронзовый слой и исключить неравномерность свойств композита.

### **Результаты исследований**

Результатом проведенных исследований стала разработка технологии мелкосерийного производства МФЛ с расширенными эксплуатационными характеристиками. Данный материал отличается от аналогов тем, что бронзовый слой наносится непосредственно на стальную полосу без применения промежуточного медного подслоя и имеет регулируемую пористость и выпускается в виде пластин разного размера, что расширяет эксплуатационные возможности МФЛ.

Технология изготовления МФЛ с расширенными эксплуатационными характеристиками состоит из следующих основных этапов:

#### *1. Подготовка стальной полосы.*

Состоит в удалении окалины, ржавчины с последующим обезжириванием поверхности. Удаление окалины и ржавчины осуществляется металлическими щетками. При этом на поверхность стальной полосы наносится микрорельеф, который способствует повышению адгезии далее наносимого бронзового слоя.

#### *2. Подготовка порошковой шихты.*

На этом этапе для регулировки пористости бронзового слоя в порошок бронзы вводятся порообразующие компоненты в определенных количествах, которые, удаляясь при спекании, способствуют образованию дополнительных пор в бронзовом слое. Количество дополнительных пор пропорционально. Готовится порошковая шихта смешиванием бронзового порошка с дополнительным компонентом. Лучшее качество пористого бронзового слоя (однородность пор) достигается применением порошков одинаковой фракции. Оптимальным вариантом является использование бронзового порошка марки Бр. ОФ-10-1 со сферическими частицами размером 0,1–0,16 мм. В качестве порообразующих компонентов могут применяться следующие вещества: некоторые соли аммония (углекислый аммоний, бикарбонат аммония, хлористый аммоний); парафин; хлорная медь; хлорное железо; оксид цинка.

Наиболее оптимальным является применение порошка хлористого аммония, так как он удаляется при спекании полностью (без остатка в порах бронзового слоя), а продукты его разложения активируют процесс спекания, что позволяет получать композит с высоким адгезионным взаимодействием между бронзовым слоем и поверхностью стальной полосы без применения промежуточного медного подслоя на поверхности полосы. Размеры гранул порошка хлористого аммония, а также его количество в шихте зависят от требуемой пористости бронзового слоя.

Содержание порообразующего компонента в шихте находится в пропорциональной зависимости от требуемой пористости бронзового слоя, однако оно не должно превышать 50 % от общего объема, так как при этом значительно ослабевают прочностные свойства бронзового слоя.

Полученная экспериментально зависимость (рис. 1) позволяет определить количество вводимого в шихту порообразователя для получения определенной пористости (П).

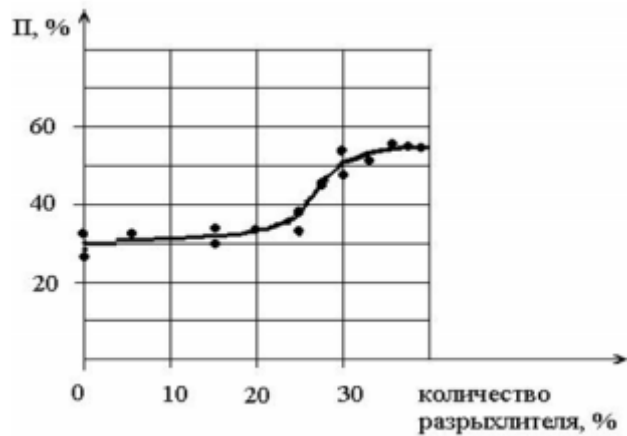


Рис. 1. Зависимость пористости бронзового слоя от содержания разрыхлителя (порообразователя) в шихте

### 3. Нанесение порошковой шихты на стальную полосу.

Для получения равномерного бронзового слоя (неровности недопустимы) в качестве способа нанесения применен метод накатки порошковой шихты на полосу (рис. 2).

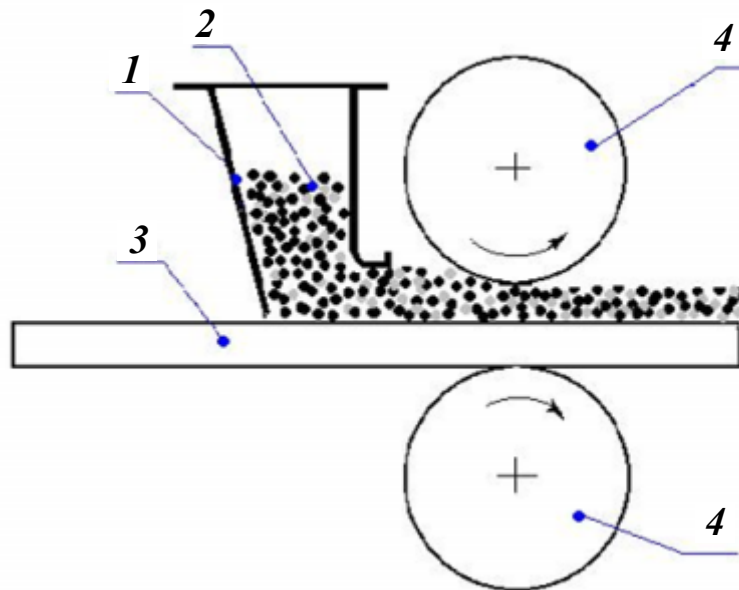


Рис. 2. Схема накатки порошковой шихты:  
 1 – бункер; 2 – порошковая шихта (бронза и разрыхлитель);  
 3 – стальная полоса; 4 – прокатные валки

Порошковая шихта 2 засыпается в бункер 1. Из бункера под действием силы тяжести порошок укладывается на стальную полосу 3 слоем определенной толщины. Далее полоса подается в прокатные валки 4. Накатка порошка осуществляется с минимальным обжатием для исключения пластической деформации частиц бронзы (зазор между валками устанавливается из условия минимального захвата полосы).

### 4. Спекание бронзового порошка.

Спекание проводится в среде защитного газа или в вакууме для исключения окисления спекаемых материалов. В качестве защитной среды могут применяться: водород, диссоциированный аммиак, конвертированный природный газ, эндотермический газ. Выбор защитной среды в значительной степени зависит от состава спекаемого изделия, типа печи, экономических факторов. Температурный интервал спекания выбирается по диаграмме состояния бронзового сплава. Рекомендуемый интервал 870–

920 °С. Время выдержки в данном интервале температур варьируется в пределах 0,5–1 ч (меньшая выдержка для более высоких температур).

В процессе спекания удаляется разрыхлитель, частицы бронзы спекаются между собой и с поверхностью полосы. Получаемый полупродукт представляет собой стальную полосу с напеченным на нее пористым бронзовым слоем.

#### 5. Приготовление пасты фторопласта.

Для пропитки пористого бронзового слоя фторопластом готовится паста совместной коагуляцией водной суспензии фторопласта-4ДВ и спиртовой суспензии свинца, дисульфида молибдена (либо других наполнителей), обеспечивающих дополнительные свойства материала.

#### 6. Пропитка бронзового слоя пастой фторопласта.

Осуществляется способом вкатывания валками (рис. 3).

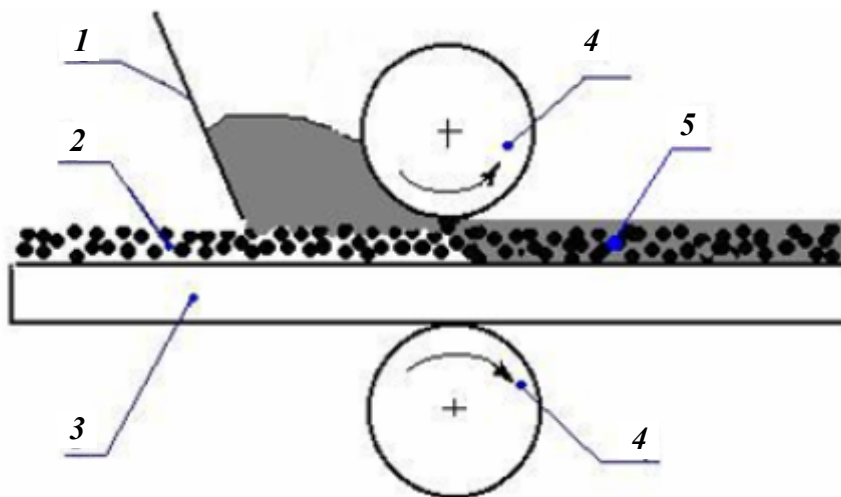


Рис. 3. Схема пропитки бронзового слоя пастой фторопласта: 1 – бункер с пастой; 2 – пористый бронзовый слой; 3 – стальная основа; 4 – прокатные валки; 5 – пористый слой, пропитанный фторопластом

Паста из бункера 1 подается на полосу и вместе с ней втягивается в зазор между валками 4. Воздух при этом последовательно вытесняется по пористому слою вперед, и поры при правильной дозировке заполняются на всю толщину пористого слоя. Вкатывание пасты осуществляется с небольшим обжатием частиц бронзы, при этом фторопласт проникает в поры, и некоторые из них закрываются, что не ухудшает рабочие свойства материала. При вкатывании паста впрессовывается в поры и образует поверхностный приработочный слой по всей длине полосы.

Паста, вкатанная в поры, высушивается при температуре около 100 °С.

#### 7. Спекание фторопласта.

Частицы фторопласта в порах и на поверхности бронзового слоя спекаются путем выдержки полос при температуре 380–400 °С не менее 20 мин.

#### 8. Калибровка и термообработка полосы.

После спекания фторопласта горячую полосу подвергают совместной закалке и калибровке. Осуществляется эта операция по схеме, представленной на рис. 4.

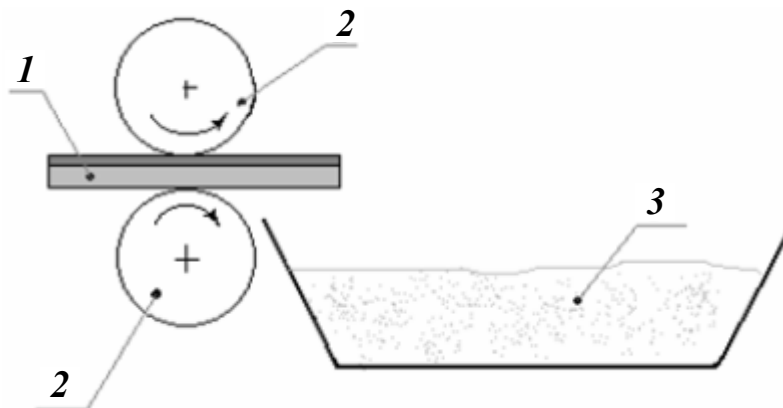


Рис. 4. Схема калибровки и закалки:  
1 – полоса; 2 – прокатные валки; 3 – ванна с водой

Горячая полоса 1 из печи подается в прокатные валки 2, зазор между которыми устанавливается согласно конечной толщине полосы. При прохождении между валками полоса частично охлаждается, сглаживаются образовавшиеся при спекании дефекты поверхностного слоя. После выхода из валков полоса попадает в ванну с водой 3, где быстро охлаждается до комнатной температуры, что обеспечивает закалку кристаллической структуры фторопласта.

После выполнения этих операций полоса представляет собой готовый антифрикционный материал, из которого в дальнейшем методом штамповки изготавливаются свертные втулки, упорные кольца и другие самосмазывающиеся подшипники.

Исследование микроструктуры полученного материала проводилось на приборе ПМТ-3. Были получены фотографии поперечных шлифов полосы, рабочей поверхности трения. На рис. 5 представлена микроструктура МФЛ российского производства, на которой отображены: стальная основа 1; медный подслоя 2; сферические частицы бронзы 3; поры 4, заполненные фторопластом-4.

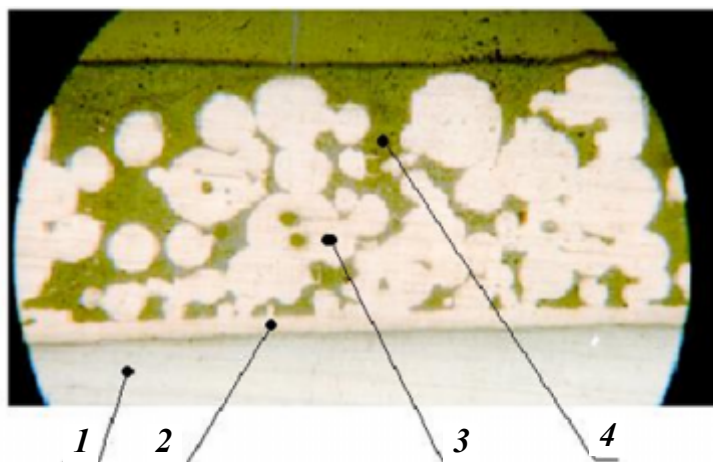


Рис. 5. Микроструктура МФЛ (x120):  
1 – стальная основа; 2 – медный подслоя;  
3 – сферические частицы бронзы; 4 – поры

На рис. 6 представлена микроструктура полосы, полученной по приведенной выше разработанной технологии. Следует отметить, что в полученном материале отсутствует медный подслоя, а также увеличена пористость бронзового слоя, что позволило ввести дополнительное количество смазывающего материала – фторопласта с наполнителем. Пористость данного образца составляет около 40 %.

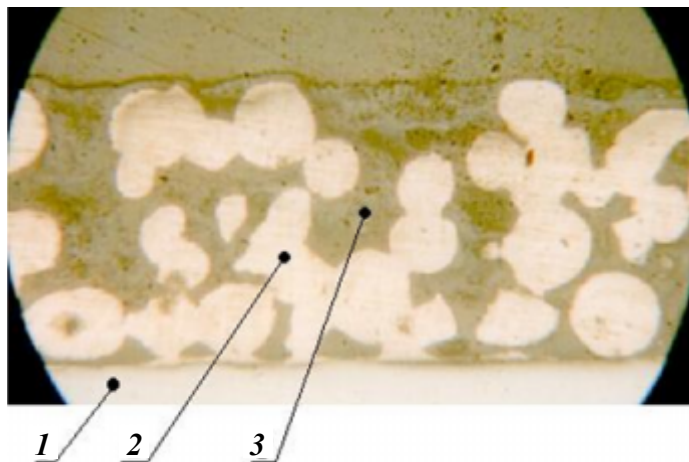


Рис. 6. Структура материала (x120):  
 1 – стальная полоса; 2 – частицы бронзы;  
 3 – поры, заполненные фторопластом с наполнителем

Предлагаемая технология позволяет получать материал с регулируемой пористостью бронзового слоя в пределах 25–50 %. Более высокая пористость приводит к значительному ослаблению прочностных свойств материала.

Использование разработанной технологии дает возможность получения материала с тонким рабочим слоем (0,17 мм), который может применяться в узлах, требующих повышенной точности установки трущихся поверхностей. Структура такого материала представлена на рис. 7. При его изготовлении на стальную основу наносится бронзовый слой толщиной в одну частицу порошка, что позволяет получить рабочий слой повышенной точности.

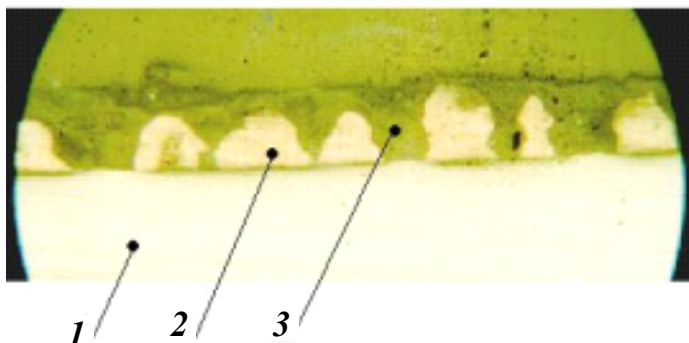


Рис. 7. Структура материала (x120):  
 1 – стальная полоса; 2 – частицы бронзы;  
 3 – поры, заполненные фторопластом с наполнителем

Из вышеизложенного следует, что предлагаемая технология позволяет производить МФЛ с различной пористостью бронзовой матрицы, что делает возможным введение различного количества антифрикционного наполнителя (от 25 до 50 %) в поры бронзового слоя.

Для проведения испытаний полученного материала на износ и долговечность были изготовлены подшипники скольжения типа свертных втулок с внутренним диаметром  $d = 6$  мм и шириной  $b = 9$  мм. Подшипники работали в паре с валом из закаленной стали 45 (твердость порядка 50 HRC) по схеме «вращающийся вал – неподвижная втулка». Согласно рекомендациям [2], нагружение подшипника выбиралось из условия  $PV = 0,5$  МПа · м/с. В качестве «тяжелого» режима нагружения подшипника принят режим с контактным давлением  $p = 3,17$  МПа и скоростью скольжения  $V = 0,157$  м/с. В качестве «легкого» режима

нагружения подшипника принят режим с контактным давлением  $p = 1,10$  МПа и скоростью скольжения  $0,450$  м/с.

Были получены следующие результаты:

Срок службы подшипников, изготовленных из материала со средней пористостью 30 %, а также из МФЛ составил:

- 200 ч при  $p = 3,17$  МПа и  $V = 0,157$  м/с;
- 300 ч при  $p = 1,10$  МПа и  $V = 0,450$  м/с.

Срок службы подшипников, изготовленных из материала с пористостью 48 %, составил:

- 150 ч при  $p = 3,17$  МПа и  $V = 0,157$  м/с;
- 450 ч при  $p = 1,10$  МПа и  $V = 0,450$  м/с.

Срок службы подшипников, изготовленных из МФЛ российского производства, составил:

- 200 ч при  $p = 3,17$  МПа и  $V = 0,157$  м/с;
- 300 ч при  $p = 1,10$  МПа и  $V = 0,450$  м/с.

Приведенные результаты испытаний на трение показали, что полученный материал с пористостью около 30 % имеет эксплуатационные характеристики, близкие к аналогам. Полученный материал с пористостью бронзовой матрицы 48 % уступает по своим характеристикам МФЛ российского производства при тяжело нагруженных режимах работы, что объясняется снижением прочностных свойств рабочего слоя. Однако при малых удельных давлениях и повышенных скоростях скольжения срок службы подшипников из материала с пористостью бронзовой матрицы 48 % значительно превосходит срок службы аналогов вследствие наличия избыточного количества твердой смазки.

### **Заключение**

Разработанная технология расширяет диапазон применения металлофторопластового материала. Она позволяет изготавливать этот вид материала с разными эксплуатационными характеристиками и размерами без существенных изменений в технологии его получения, что повышает эффективность его мелкосерийного производства.

Полученный металлофторопластовый материал с увеличенной пористостью бронзового слоя до 48 % рекомендуется как более эффективный для изготовления подшипников скольжения, работающих в условиях легкого нагружения. Материал можно изготавливать в виде полос разных типоразмеров без необходимости перенастройки оборудования под каждый типоразмер полос.

### **Литература**

1. Чичинадзе, А. В. Полимеры в узлах трения машин и приборов : справочник / А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1988.
2. Семенов, А. П. Металлофторопластовые подшипники / А. П. Семенов, Ю. Э. Савинский. – М. : Машиностроение, 1976.
3. Семенов, А. П. Технология изготовления и свойства содержащих фторопласт антифрикционных материалов / А. П. Семенов. – М. : Машиностроение, 1963.

*Получено 18.02.2011 г.*