

МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ: ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

В. Е. Рогов^{1, 2}, А. М. Гурьев¹, С. О. Никифоров²

¹Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

²Бурятский научный центр СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Проведен анализ и выявлены основные причины свертывания производств по выпуску металлофторопластовых материалов. Проведен обзор патентов на способы получения металлофторопластовых лент (МФЛ) и выявлены перспективные разработки, позволяющие существенно увеличить эксплуатационные характеристики подобных материалов.

Существует целый класс металлофторопластовых подшипников и других узлов трения работающих в условиях отсутствия смазочного материала. В качестве примера металлофторопластового материала можно привести исходный функциональный модуль в виде конструкционной основы из малоуглеродистой стали, на которую через тонкий слой меди нанесен пористый слой сферических частиц оловянной бронзы (диаметром около 0,1 мм) толщиной 0,3–0,4 мм. Общий объем сообщающихся пор должен составлять 30–40 % объема модуля. Из смеси фторопласта с наполнителем (дисульфид молибдена) формируется тонкий поверхностный слой, закрывающий выступающие вершины наружных сферических частиц бронзы [1]. Полученный составной материал из несущей стальной ленты, припеченной к ней пористой подложки и фторопластового наполнения, обладает существенными преимуществами. Они заключаются в повышенной механической прочности, высокой износостойкости и несущей способности, экономии цветных металлов и фторопласта.

Металлофторопластовые подшипники обладают высокими антифрикционными свойствами в диапазоне температур от 73 до 553 К; $p \cdot v = 1,5$ МПа·м/с, работоспособны в вакууме, жидких средах, не обладающих смазочным действием, позволяют заменить сложные шарикоподшипниковые узлы. Диаметр этих деталей в два, а масса на порядок и более меньше по сравнению с традиционными подшипниками качения, при этом ис-

ключается использование дорогих легированных сталей [2].

Подобный ленточный материал применяется в самых разнообразных отраслях, в основном, в узлах, работающих без смазки, хотя введение смазки, как правило, оказывает благоприятное действие на работу подшипников. Подшипники используются с традиционными маслами в узлах трения, работающих в режимах гидродинамического и смешанного трения (в узлах трения: насосов для перекачки нефти, гидроусилителей руля автомобилей и др.) [3].

Такие материалы в СССР производились на ряде машиностроительных заводов страны (Климовский машиностроительный завод, г. Климовск, ОАО «Автоагрегат», г. Кинешма и ООО «Фторопласт», г. Бугульма).

Согласно данным Интернета появились новые предприятия, производящие металлофторопластовые ленты (МФЛ) и изделия из неё [4–6], однако информация носит рекламный характер, поэтому судить о способах получения и свойствах материала достаточно сложно, причем под МФЛ подразумевается достаточно широкий спектр различных материалов.

Подобные материалы, например, производит, ЗАО «ПРОМГЛЕКС-М» [4].

- АПМФ-Л-01,02,03,04 – металлофторопластовые уплотнительные ленты из экспандированного и волокнистого политетрафторэтилена, армированные микросетками, рифлеными или перфорированными лентами из нержавеющей стали, меди, или алюминия;

- А-АПМФ-Л(М90), А-АПМФ-Л(М70) – антифрикционные металлофторопластовые ленты для изготовления подшипников (узлов) скольжения в различном оборудовании, толщиной от 0,25 до 2,25 мм и шириной от 10 до 300–600 мм. МФЛ данной серии приостанавливают вытекание (вытеснение) фторопласта в зазоры фланцевых соединений и предназначены для уплотнения хомутов РНС-101, герметизации тяжело нагруженных фланцев

различного оборудования, эксплуатируемого в условиях вибрационных нагрузок, резких перепадов и толчков давлений до 15 МПа. Температура эксплуатации от -240 до $+270$ °С (кратковременно до $+310$ °С). Ширина по желанию заказчика – от 10 до 100 мм, толщина 1,0–5,0 мм и длина 10–50 метров.

В данной работе под МФЛ будем понимать традиционное истолкование.

ООО «БИСПЛАВом» [6] рекламируется продукция в виде металлофторопластовой ленты с различными наполнителями (CaF_2 , MoS_2 , Pb, графит, различные волокна). Во фторопластовых композициях использование дисульфида молибдена и порошкового свинца широко распространено, применяется и фторид кальция, поскольку он обладает кубической флюоритовой структурой (Fm $\bar{3}m$), именно такая структура обеспечивает повышение износостойкости пар трения, работающих без смазочного материала [7], однако применение в качестве наполнителей различных волокон вызывает большое сомнение. Предприятия, выпускающие МФЛ, небольшие, созданы недавно, поэтому произвести импортозамещение или изготовить требуемый объем изделий из МФЛ они не в состоянии.

Мировое производство подобной продукции из года в год возрастает, в России же производство МФЛ на крупных производственных предприятиях сворачивается. В чем причина этого?

Анализ использования вышеуказанных материалов в узлах трения показал, что отечественные машиностроители-потребители изделий из металлофторопластовой ленты предпочитают отечественному подобному материалу материал импортного производства, из-за более высоких эксплуатационных свойств. Изделия из материала импортного производства широко применяются в различных отраслях промышленности, например, в качестве направляющих втулок в гидравлических телескопических стойках амортизаторов всех марок автомобилей, в шестеренчатых насосах, в шарнирах задних дверей ГАЗ 2705, 33021 «Газель», в компрессорах, в паровых турбинах и т. д.

Естественно возникает вопрос: почему же эксплуатационные качественные характеристики импортных изделий существенно превышают отечественные?

При беглом сравнении отечественных и зарубежных технологий (например, технология английской фирмы «Гласиер») получения МФЛ, наглядно видно, что в них основные технологические операции (нанесение по-

рошка, припекание бронзовых частиц, вкатывание полимерной пасты и т. д.) практически одинаковы, за исключением использования в технологических циклах различных наполнителей и способов спекания. Так, например, материал DU наполнен фторопластовой композицией со свинцовым порошком 20 %, DP – чистым фторопластом, а отечественный – дисульфидом молибдена 25 %.

Проведенные эксперименты показали, что при вкатывании антифрикционного состава в виде фторопластовой пасты заполняются поры бронзового слоя и покрывают ленту ровным непрерывным слоем, однако после спекания при температуре 370 – 380 °С на воздухе полимер легко отделяется от пористой поверхности. Этот факт требует сравнительного анализа отличительных признаков в технологических операциях изготовления МФЛ отечественных и импортных производств и выявления характера их влияния на конечный результат.

О способе получения МФЛ.

На рисунке 1 приведен алгоритм получения МФЛ.

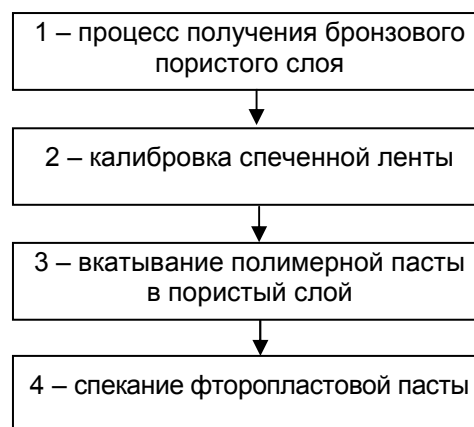


Рисунок 1 – Алгоритм получения МФЛ

1. Вначале рассмотрим процесс припекания бронзового порошка к металлической основе. На российскую МФЛ наносится слой частиц порошка (0,063–0,16 мм сферической формы) бронзы Бр010Ц2, толщиной около 0,35–0,40 мм и производится припекание в защитной атмосфере с дальнейшей калибровкой в размер.

Толщина импортного бронзового слоя находится в тех же пределах, а для обеспечения максимальной пористости, для пропитки суспензией фторопласта и сохранения высокой прочности применяют порошки с узким

МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ: ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

пределом фракционного состава (200 ± 150 мкм, 150 ± 100 мкм и 100 ± 75 мкм) [8].

В идеальном случае количество слоев пористой бронзы может равняться трем-пяти при пористости до 50 %, однако на практике частицы бронзы при нанесении стремятся занять меньший объем и располагаются не строго друг над другом, поэтому за счет более плотной упаковки число слоев увеличивается, а пористость уменьшается.

2. Следующей операцией после припекания порошка к подложке является калибрование спеченной ленты с целью получения требуемых размеров по толщине. Данная операция приводит к уменьшению свободного объема и к закрытию поверхностных пор в зонах неравномерного распределения бронзового порошка. Технологический процесс изготовления свертных втулок из МФЛ должен обеспечить выпуск изделий с высокой точностью [9], поскольку после установки готовых изделий невозможно использовать финишные операции, то есть выходная точность конечных размеров ленты во многом определяется допустимыми отклонениями стальных листов по толщине. Предельные отклонения размеров полос по толщине за рубежом значительно меньше (из-за наличия специализированных заводов), чем у отечественных изделий. Для снижения предела поля допуска на толщину ленты отечественного производства необходимо, естественно, предусматривать ряд дополнительных технологических операций, что ведет к снижению качества поверхностного пористого слоя и удорожанию продукции в целом.

3. Далее следует процесс вкатывания в пористую поверхность бронзы густой фторопластовой пасты.

Рассмотрим структурно-механическое поведение фторопластовой пасты (без наполнителя) нанесенной на бронзовый слой металлофторопластовой ленты. Слой пасты полимера вкатывается в поры бронзы при комнатной температуре; при этом в каждое свободное пространство между спеченными частицами попадает фторопластовая композиция. Определить глубину проникновения пасты достаточно сложно, так как чем дальше от поверхности, тем меньше свободного пространства и сообщающихся каналов между частицами бронзы. Естественно, поэтому предположить, что основной слой полимера может проникнуть при вкатывании не далее второго слоя, причем это происходит не по всей площади ввиду нерегулярного и неравномерного распределения порошка.

4. Заключительной технологической операцией является термообработка, при которой происходит процесс расплавления полимера и его спекание, когда частицы фторопласта соединяются. Однако с повышением температуры частицы политетрафторэтилена значительно расширяются (при температуре спекания частицы фторопласта увеличиваются в объеме на 25 %), но поскольку расширение частиц происходит в ограниченном объеме, то частицы, естественно, расширяются в направлении свободного пространства, и полимер выталкивается из пор на поверхность. Таким образом, монолитизация полимерного слоя происходит уже на поверхности пористого слоя бронзы. Дальнейшее калибрование нагретыми валками вдавлирует фторопластовую пленку обратно в поры, однако в силу слабых адгезионных свойств ПТФЭ существенного сцепления между частицами бронзы и фторопласта не происходит.

Из существующих механизмов адгезии ПТФЭ к металлам, можно выделить основные [10]: а) химический, б) физический, г) механический (рисунок 2).

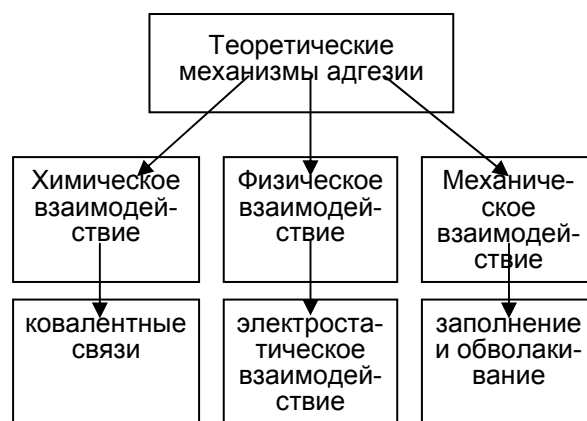


Рисунок 2 – Механизмы адгезии ПТФЭ

Первый механизм обусловлен наличием ковалентной химической связи между атомами полимера и подложки. В процессе диспергации кислород, замещающий атомы фтора в макромолекулах, будет являться адгезионным центром, где молекулы закрепляются на металлах и других твердых поверхностях. В исходном ПТФЭ закрепление макромолекулы на поверхности твердого тела происходит путем присоединения торцевой части, из-за чего уменьшается вероятность сцепления между ними. Модификация молекул ПТФЭ

позволяет осуществлять сцепление макромолекулярной цепи с подложкой при горизонтальном соприкосновении, тем самым существенно увеличивая возможность адгезии.

Во втором механизме предполагается связь полимера с поверхностью за счет электростатических взаимодействий мультипольных моментов атомов и молекул сорбента и сорбата. Замещение фтора кислородом понижает локальную симметрию электронного облака, из-за чего появляются электрические локальные мультиполя и происходит усиление сцепления полимера.

Третий механизм основан на явлении заполнения и обволакивания дефектов поверхности и пор изделия полимером и его доля в адгезии будет определяться соотношением размеров частиц полимера и дефектов, величин пористости и размеров пор. Все вышеописанные здесь способы прилипания (сцепления) не работоспособны.

В конечном счете, образуется тонкий незакрепленный в порах фторопластовый полимерный слой, при повышении температуры он может легко отделяться от бронзового слоя; таким образом, подобный технологический процесс закрепления полимерного слоя из чистого фторопласта на пористой поверхности нереализуем; тем самым выявлено то, что основная трудность при нанесении фторопластовых композиций на поверхность бронзового пористого слоя заключается в фиксации в порах антифрикционного покрытия, причем наиболее существенным препятствием закрепления наряду с низкой адгезией является высокий коэффициент термического расширения фторопласта.

Существенного увеличения остаточного объема политетрафторэтилена в пористом пространстве бронзовых частиц при спекании можно добиться либо за счет снижения его коэффициента термического расширения (объемное наполнения полимерной матрицы наполнителями), либо за счет использования внешнего давления на полимер.

Российскими производителями МФЛ выбран первый способ, заключающийся в уменьшении доли фторопласта в композите для снижения величины коэффициента термического расширения композиционного материала в целом.

Рассмотрим состав промышленного фторопластового композита, впрессовываемого в поры металлофторопластовой ленты и соответствующие расчетные данные, где исходные величины заимствованы из работы [11]. Для изготовления 1 м² комбинированного материала

из стальной ленты (толщиной 1,5 мм) с напеченным на нее слоем пористой бронзы (толщиной 0,4 мм) с пористостью 35 %, пропитанным фторопластом, содержащим 25 об. % дисульфида молибдена, требуется около 12 кг листовой стали, примерно 0,25 кг фторопласта (сухого вещества), до 0,17 кг дисульфида молибдена и около 2,1 кг оловянистой бронзы. Из такой антифрикционной ленты можно изготовить примерно 500 штук свертных втулок диаметром 25 и длиной 25 мм.

Из расчетов следует, что в поры впрессовывается композит с содержанием MoS₂ до 40 мас. %. При таком наполнении ПТФЭ дисульфидом молибдена коэффициент термического расширения фторопластового композита, естественно, значительно уменьшается.

В промышленных фторопластовых композиционных материалах дисульфид молибдена широко применяется в композициях при содержании не более 5 мас. % (Ф4К15М5, Ф4С15М5, АМИП, ФН-202 и др.). Получение композиций из порошкового ПТФЭ и дисульфида молибдена с содержанием последнего 40 мас. % вызывает определенные трудности из-за недостаточной механической прочности образцов [12]. При этом следует иметь в виду, что антифрикционные свойства обусловлены трибологическими характеристиками обоих химических соединений (ПТФЭ, MoS₂), содержащимися в композите почти в равных пропорциях.

В работе [13], установлено, что, несмотря на высокие износостойкие свойства втулок из МФЛ при сухом трении их предельный износ сосредоточен в поверхностном слое толщиной 0,025–0,05 мм, тем самым подтверждается вывод о недостаточной толщине фторопластового слоя в пористом пространстве бронзы, что непосредственно сказывается на долговечности изделия в целом.

Второй путь уменьшения влияния коэффициента термического расширения основан на создании внешнего силового воздействия на полимер при термообработке последнего под слоем расплавленного свинца. Расплавленный свинец создает требуемую температуру для спекания полимерной пленки и достаточное внешнее давление на фторопластовый слой, тем самым фторопластовые частицы удерживаются в порах и спекаются там. При нагреве находящиеся в пористом слое фторопластовые частицы значительно расширяются, а так как внешнее давление не позволяет им выходить из пор на поверхность бронзового слоя, то они еще дальше проникают в поры и закрепляются в них. Отметим также,

МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ: ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

что использование внешнего давления при термообработке полимерного слоя позволяет закрепить в порах и чистый политетрафторэтилен (марка DP), чего невозможно достичь при свободном спекании на воздухе.

Таким образом, спекание полимерного слоя под давлением расплавленного свинца позволяет достичь более глубокого проникновения полимера в поры и достигать более прочного его закрепления в пористой поверхности, получать изделия с более лучшими эксплуатационными свойствами по сравнению с термообработкой на воздухе. Кроме того расплавленный свинец выступает и в качестве защитной атмосферы [14], поскольку при спекании фторопластовых композиций содержащих в качестве наполнителя высокодисперсный свинец на воздухе возникает тепловое самовозгорание наполнителя в полимерной матрице приводящее к нарушению сплошности композита.

Из опыта использования полимеров в узлах трения установлено, что необходимым условием работоспособности подшипников скольжения является оптимальное сочетание количества полимера и металла в конструкциях [15], то есть для существенного увеличения эксплуатационных характеристик новых металлополимерных материалов типа биметаллических материалов с фторопластовым слоем необходимо увеличить толщину полимерного рабочего слоя, при этом закрепление фторопластового покрытия - смазки следует проводить под давлением.

Анализ существующих патентов по способам получения металлофторопластовой ленты показал, что имеется достаточно большое количество подобных разработок, однако они не используются практически в производстве [16–19].

Из их анализа следует, что, в основном, новшества заключаются в технологиях закрепления пористого слоя, в применении взрывной обработки, в получении покрытий на цилиндрических поверхностях изделий и др.

Увеличения толщины полимерного слоя можно достичь за счет большего объема пор, где в качестве пористых слоев могут быть применены различные матричные материалы. Однако традиционные матрично-наполненные материалы требуют больших затрат для получения необходимого рельефа на металлической поверхности изделия, поэтому исследователями стали применяться металлические сетки из антифрикционных материалов.

Известны способы получения МФЛ [20–23], где вместо традиционного пористого

бронзового слоя из сферических частиц, используются различные сетчатые, специальным образом закрепленные на металлической поверхности антифрикционные материалы. Использование антифрикционных сеток позволяет значительно увеличить долю полимера в рабочем слое данного материала. Объем занимаемый бронзовыми нитями зависит от типа переплетения и размера сеток. Для работы узлов в условиях сухого трения на сетчатую поверхность создаваемого материала наносятся политетрафторэтилен и его композиции различными способами. Закрепление полимерного слоя в порах сетки производится путем спекания листовых изделий в кассетах.

Основным достоинством кассетного способа является то, что вместо внешнего силового воздействия для закрепления полимерного покрытия используется аутогенное давление самого фторопласта возникающее в ограниченном объеме при температуре термообработки, при этом существенно упрощается технологический процесс нанесения. По сравнению с процедурой закрепления полимера в порах под давлением расплавленного свинца этот способ более экологичен.

Однако этому способу присущ ряд существенных недостатков. Во-первых, он достаточно энергоемок, требует большого объема ручного труда и не поддается автоматизированию. Во-вторых, позволяет получать биметаллические антифрикционные изделия только небольших размеров. Увеличение размеров получаемых деталей требует специального крупногабаритного оборудования и оснастки (пресса, печи), при этом ограничивающие плоскопараллельные пластины при неоднократном нагреве до 950 °С за счет коробления быстро выходят из строя.

Отметим также принципиально новый способ получения листового армированного фторопластового материала [24], позволяющего надежно закрепить полимер в пористом пространстве армирующего элемента (антифрикционные сетки). В виду отсутствия металлической основы, армированный фторопластовый материал конструктивно имеет принципиальные различия от МФЛ, но фрагменты зоны фрикционного контакта отличаются незначительно – это наличие гетерогенной структуры, содержащей бронзу и фторопласт, при этом слой полимера, выступающего в качестве смазки на порядки больше. За счет использования различных номеров и типов тканей сеток, данный способ позволяет получать листовой армиро-

ванный фторопласт (ЛАФ) с широким спектром физико-механических и триботехнических характеристик.

Наилучшим способом нанесения антифрикционного полимерного слоя при армировании политетрафторэтилена является процесс вкатывания неориентированной пленки, это позволяет заполнить свободное пространство сетки полимером и существенно увеличить размеры получаемых заготовок. При заполнении пор армирующего элемента (сетки) неориентированной фторопластовой пленкой нарушается сплошность последней. При спекании за счет когезионных связей и диффузионных процессов, возникающих между частицами ПТФЭ, находящимися в ограниченном объеме и сближения из-за теплового расширения фторопласта происходит монолитизация полимерного слоя. При остывании последнего за счет охвата имеющихся проволок в армирующем элементе во время кристаллизации происходит закрепление полимера по объему сетки, из-за чего возникают надежные механические связи между ними. По сравнению с металлофторопластовой лентой сетчатые армирующие элементы позволяют в десятки раз увеличить толщину рабочего полимерного слоя тем самым повышая эксплуатационные свойства, классический критерий работоспособности металлополимерных подшипников скольжения, ресурс работы и надежность узлов сухого трения.

Полученные материалы представляют собой композиционные антифрикционные материалы с гетерогенной структурой, состоящей из регулярно чередующихся участков прочного износостойкого слоя бронзовой сетки с относительно низкими значениями коэффициента трения и полимера, при трении способного образовывать промежуточный предохраняющий от схватывания слой с равномерным распределением полимера по всей толщине сетки (рисунок 3).

Материал обладает высокими износостойкими свойствами, работоспособен в широком диапазоне температур и нагрузок в условиях сухого трения и в средах не обладающих смазочными свойствами.

Поскольку полученные листовые армированные фторопласты не обладают хладотекучестью, поэтому значительно расширяется сфера применения металлополимерных фторопластовых материалов. Данный материал перспективен для применения в опорных частях мостовых сооружений [25] и в подшипниках турбин электростанций.

На топографии поверхности фрагмента сетки (рисунок 4) видно, что бронзовые пятна касания располагаются выше, по сравнению с основным полимерным слоем из-за значительной разницы значений коэффициентов линейных расширений бронзы и фторопласта. Не обнаружено чистой металлической поверхности бронзовых нитей, что свидетельствует о том, что во время работы на поверхности трения постоянно генерируется смазочная пленка из фторопластовой композиции.

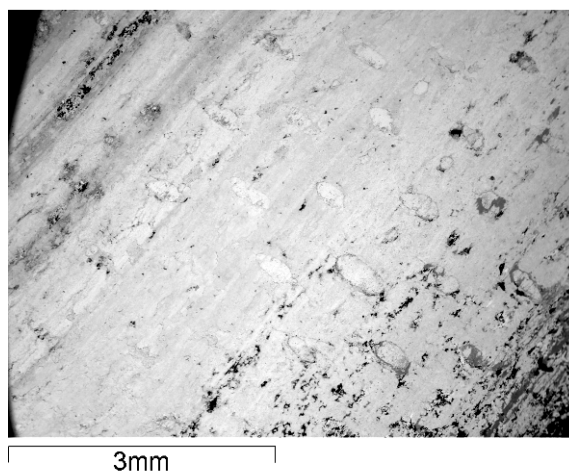


Рисунок 3 – Фрагмент поверхности трения листового армированного фторопластового материала

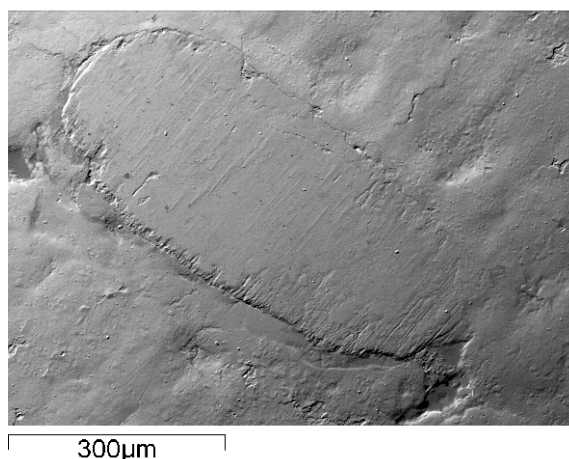


Рисунок 4 – Топография поверхности одного утка бронзолатунной сетки № 16 после 20 ч испытаний

МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ: ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

ВЫВОДЫ

Отечественные традиционные технологии изготовления МФЛ пока не позволяют получать металлофторопластовые ленты с высокими эксплуатационными свойствами из-за недостаточности полимерной смазки, определяемой толщиной фторопластовой пленки (сотые доли мм). Причина в невозможности технологий доставить фторопласт на достаточную глубину и прочно соединить его с пористым бронзовым слоем.

В настоящее время существует большое число патентов на способы получения МФЛ, из них перспективны те разработки, которые позволяют закрепить и существенно увеличить слой фторопласта, где в качестве пористого слоя используются антифрикционные сетки. Их применение позволяет в десятки раз увеличить толщину рабочего полимерного слоя по сравнению с традиционной МФЛ, увеличить ресурс работы и надежность узлов сухого трения (процесс трения пары металлическое контртело - армированный фторопласт протекает при постоянном наличии ПТФЭ до величины предельно допустимого износа трибосопряжения в целом).

Перспективным является также листовой армированный фторопластовый материал, значительно упрощающий процесс изготовления антифрикционных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А. П., Савинский Ю. Э. Металлофторопластовые подшипники. М.: Машиностроение. 1976. 196 с.
2. Лагунов В. С. и др. Изготовление изделий из металлофторопластовых композиционных материалов // Машиностроение. – 1996. - № 4. –С. 16-18.
3. <http://ftoroplast.oml.ru>
4. <http://promglex.ruln.ru>
5. <http://www.pskomplekt.narod.ru>
6. <http://www.triolent.ru>
7. Рогов В. Е., Цыренова Г. Д., Черский И. Н. Трибосинтез фторида свинца при трении фторопластовых свинецсодержащих композиций и его влияние на их износостойкость // Ж. Трение и износ, Т. 30, № 4, 2009. С. 390-395.
8. Бальшин М. Ю. Порошковая металлургия.- М.: Металлургиздат. 1948. - 288 с.
9. ГОСТ 28773-90 Подшипники скольжения. Втулки свертные с антифрикционным слоем на основе фторопласта-KV. Размеры и допуски.
10. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. М.: Машиностроение. 1986. 359 с
11. Семенов А. П. Подшипники скольжения. – М.: 1969. – 72с.
12. Богатин О. Б., Мороз В. А., Черский И. Н. Основы расчета полимерных узлов трения.- Новосибирск: Наука, 1983. 36 с.
13. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Байбарацкая М. Ю., Мамаев О. А. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр» 2004. - 262 с.
14. Рогов В. Е. Механизм самовозгорания свинецсодержащих наполнителей в фторопластовой матрице при термообработке Ж. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. Барнаул, АГТУ. Т. 6, № 1, 2009 С. 25-30.
15. Металлополимерные материалы и изделия. Под ред. В.А. Белого.-М.: Химия, 1979, 312с.
16. Патент РФ №2286231 Калиниченко В.Г., Коваленко Д.В., Чугунов В.Ф., Щеглов Е.Л. Многослойная металлофторопластовая лента и способ ее изготовления.
17. Патент РФ №2186658 Комаров С.С., Беляев Б.А., Хатмуллин В.Р., Набиуллин В.Х., Байбулатов В.П. Способ изготовления фторопластовой ленты.
18. Патент РФ № 2033922 Адаменко Н.А., Трыков Ю.П., Фетисов А.В., Гуревич Л.М., Казуров А. В. Способ получения металлофторопластовых покрытий из порошкообразного материала на цилиндрической поверхности изделий.
19. Патент РФ №2210462 Калиниченко В. Г., Коваленко Д. В., Чугунов В.Ф., Щеглов Е.Л. Способ изготовления многослойной металлофторопластовой ленты.
20. Патент РФ № 1398244, 1992. Способ изготовления многослойных антифрикционных изделий Корнопольцев Н.В.
21. Патент РФ № 1418999, 1993. Способ получения биметаллического металлофторопластового материала Корнопольцев Н.В.
22. Патент РФ № 1418999, 1995. Способ получения биметаллического металлофторопластового материала. Корнопольцев Н.В.
23. Патент РФ № 2277998, 2006. Способ получения биметаллического материала. Бузник В.М., Корнопольцев Н.В., Корнопольцев В.Н., Могнонов Д.М., Рогов В.Е.
24. Положительное решение о выдаче патента по заявке № 2008119258 от 27.10.2009. Способ получения листового армированного антифрикционного фторопластового материала./ Рогов В. Е.
25. ОДМ 218.2.002-2008. Рекомендации по проектированию и установке полимерных опорных частей мостов.