

Листовой антифрикционный материал

Листовыми антифрикционными материалами (ЛиАМ) авторы статьи берут на себя смелость назвать комбинированные материалы на металлической подложке, на которой создается антифрикционный рабочий слой, толщиной в допустимый износ. Такие материалы по типу разделяются на биметаллические (сталь-бронза, сталь-баббит, сталь-алюминиевый сплав) и металлополимерные, у которых антифрикционность обеспечивается наличием в рабочем слое полимера более мягкого, чем основа.

Создания на стальной подложке пористого бронзового слоя, толщиной 0,25...0,3 мм стало передовым решением в разработке самосмазывающихся материалов. Возможно получить пористый слой бронзы самого разнообразного состава с последующей пропиткой маслом или полимерами. Такие материалы массово выпускаются как в России, так и за рубежом в виде лент. Заполнение пор бронзового слоя композициями на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) с различными наполнителями позволяет создавать материалы, способные работать без смазки, в широком диапазоне температур (от -200 до +280 С) при высоких удельных нагрузках (>100 МПа) [4]. ЛиАМ на стальной подложке с припеченным тонким пористым слоем бронзы, поры которого заполняются композицией ПТФЭ со свинцом являются на сегодня самыми востребованными для изготовления опор скольжения узлов трения, эксплуатируемых в условиях ограничения смазки или без нее. Тем не менее, промышленные отечественные и зарубежные аналоги неработоспособны при повышении скорости скольжения более 1 м/с.

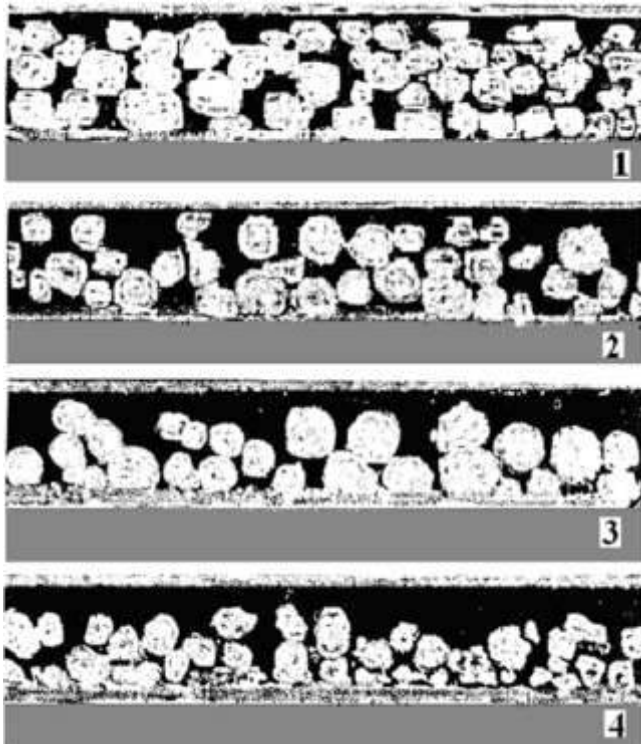
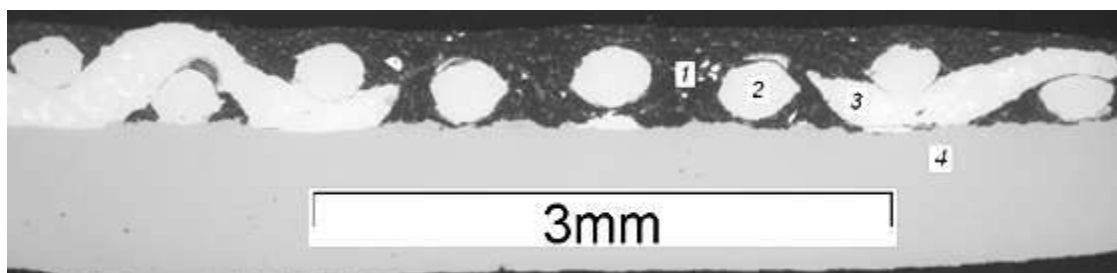
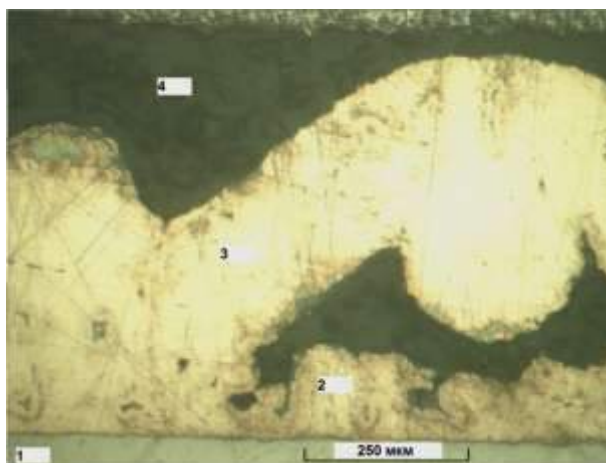


Рис. 1. Фотографии поперечных шлифов ЛиАМ четырех Российских производителей, с пористым слоем из сферической бронзы. Материал DU можно отнести к рисунку с цифрой 1.

Увеличить скорость скольжения металлополимерных ЛиАМ позволяет применение сеток. Нами было предложено предварительно припекать к металлической подложке бронзолатунную сетку. Сравнительно большой объем свободного пространства сетчатого каркаса удастся заполнять сухими порошковыми композициями на основе ПТФЭ.



*Рис. 2. Фотография поперечного шлифа ЛиАМ с бронзовым каркасом из сетки:
1 – фторопластовая композиция; 2 – уток сетки; 3 – нить сетки, 4 – стальная основа*



*Рис. 3. Фотография поперечного шлифа ЛиАМ с бронзовым каркасом из сетки:
1 – стальная основа, 2 – промежуточный слой порошковой бронзы, 3 – бронзолатунная сетка, 4 – фторопластовая композиция 65 ПТФЭ + 35 Рв (масс.%).*

Из сравнительных испытаний установлено, что ресурс ЛиАМ с бронзовым слоем из сетки превышает ресурс материала с бронзовым каркасом из сферической бронзы, однако они имеют общий недостаток – рост температуры и коэффициента трения. Как показали проведенные исследования длительную работу металлофторопластовых ЛиАМ при трении без смазки в режиме высоких скоростей скольжения можно обеспечить только при наличии большой объемной составляющей ПТФЭ, которая является главным донором в процессе образования промежуточного антифрикционного слоя. Причем, правило Шарпи для безызносного трения ЛиАМ в полной мере соблюдается тогда, когда составляющая твердых включений на поверхности трения, в данном случае бронзового каркаса, на порядок меньше более мягкой и податливой при сдвиге окружающей его ПТФЭ композиции.

Очевидно, что рабочий слой из сферической бронзы и из сетки по мере износа будет иметь не постоянную величину площади контакта на рабочей поверхности, занимаемой бронзовым каркасом. Уменьшение ПТФЭ составляющей приводит к неизбежному контакту бронзового каркаса с поверхностью стального контр-тела, к росту температуры в зоне контакта *вплоть до возникновения микроискры* и интенсификации износа как за счет истирания металлов, так и испарения фторорганической смазки.

Итак, причиной повышения температуры в зоне трения при повышении скорости скольжения является большое содержание бронзы в пористом рабочем слое металлофторопластового ЛиАМ, которое для самых востребованных ленточных материалов составляет 70-75 об.%. Столь высокое содержание бронзы зависит от способа получения ленточных материалов, в которых пористый слой бронзы получают свободным насыпанием сферического порошка бронзы на движущуюся ленту и его свободное спекание. В результате можно получить только одну структуру пористого слоя.

Если рассмотреть схему поперечного разрез ЛиАМ, пористый слой которого создается припеканием сферического порошка бронзы (рис. 4А), то даже по рисунку можно убедиться в том, что после истирания приработочного слоя фторопластовой композиции над пористым бронзовым слоем и незначительного износа пористого слоя, будет резко возрастать площадь контакта бронзы и уменьшаться составляющая полимерной композиции, являющаяся смазкой для металлов при сухом трении.

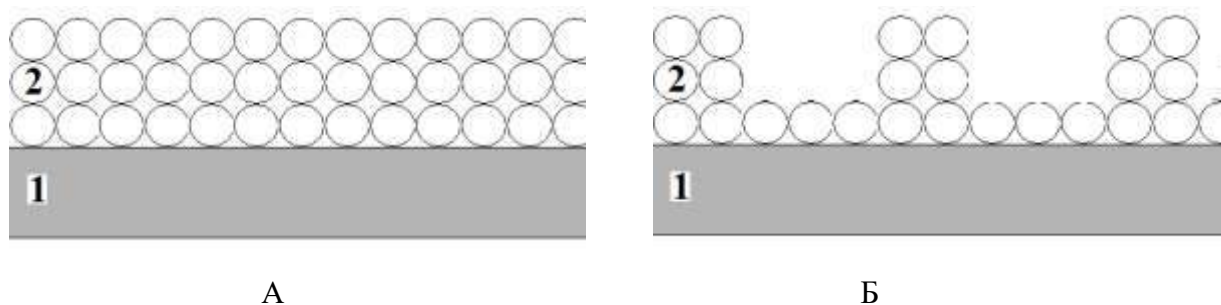


Рис. 4. Схема поперечного сечения ЛиАМ. 1- стальная основа, 2 - пористый бронзовый слой.

Для сохранения смазочной способности пористого слоя необходимо создавать такую структуру пористого слоя, у которой площадь контакта бронзовых выступов приближалась бы к 10-15 % от общей площади контакта и не изменялась по мере износа рабочего слоя.

Если обратиться к схеме поперечного сечения ЛиАМ, то схематично такой слой будет представлять столбчатую структуру, представленную на рисунке 4Б. Создание

рельефа пористого слоя во время припекания порошка к ленте пока не рассматривалось ни в одной работе, возможно из-за неосуществимости процесса.

Мы получаем ЛиАМ кассетным методом. От промышленных методов он отличается тем, что листовые материалы получают с заданными размерами, припекание слоя бронзы и спекание фторопластовой композиции осуществляется в плотно сжатом пакете, который может содержать несколько десятков листовых заготовок. Очевидно, что при таком способе припекании порошковой бронзы можно получить на стальной подложке любой оттиск.

В результате получен металлофторопластовый ЛиАМ, имеющий столбчатую структуру пористого слоя (рис.5). В зависимости от шага рифленой поверхности, при помощи которого создается рисунок пористого слоя, можно регулировать нагрузочную способность пористого слоя, его теплопроводность и объем свободного пространства, которое будет содержать антифрикционную фторопластовую композицию.

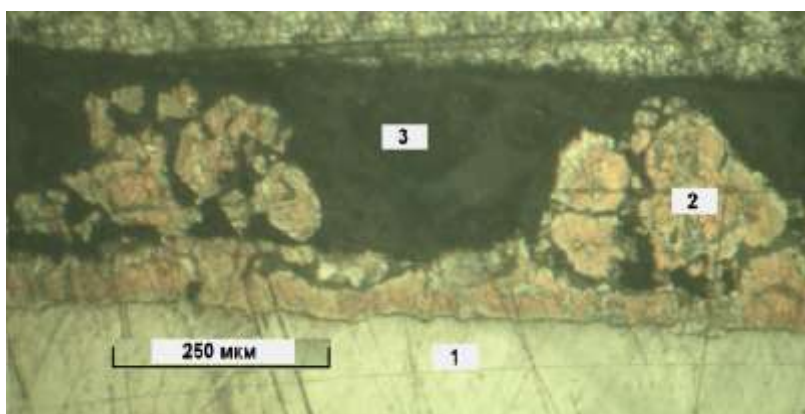


Рис. 5. Поперечный разрез разработанного ЛиАМ с пористым бронзовым слоем, имеющим «столбчатую» структуру. 1 – стальная основа, 2 – шип припеченного слоя бронзы, 3 - фторопластовая композиция,

Положительным качеством предлагаемой структуры пористого бронзового слоя также является возможность получения готовых изделий точного размера за счет удаления приработочного слоя и основного слоя с металлическим каркасом на небольшую глубину без ущерба для благоприятной работы будущей опоры скольжения. Для образца ЛиАМ, представленного на рисунке 5, объемная составляющая бронзы на глубину рабочего слоя в 0,2 мм будет изменяться от 10-15 до 15-20 %. Появляется возможность притирать подшипники с такой структурой пористого слоя по месту посадки изделия.

Существенным положительным отличием кассетного метода является спекание фторопластовой композиции под давлением, создаваемым предварительным сжатием пакета и расширением ПТФЭ при спекании. Известно, что при спекании ПТФЭ под давлением получают более компактную полимерную матрицу, обладающую лучшими

физико-механическими свойствами. Кроме того, при спекании ПТФЭ под давлением, имея ограничения в перемещении при термическом расширении кроме незаполненных при прессовании пор, можно ожидать более прочной связи ПТФЭ композиции с металлическим пористым каркасом за счет простой механической связи. При использовании в качестве наполнителя порошкового свинца более 60 мас.%, при спекании ПТФЭ композиции под давлением происходит его диспергация полимерной матрицей, образуется каркасная свинцовистая структура внутри матрицы полимерного связующего.

Сравнительные испытания нового ЛиАМ и ЛиАМ с пористым слоем из бронзолатунной сетки при скорости скольжения 3 м/с (рис. 6) показали, что новый материал имеет значительное отличие по износостойкости и параметрам изменения температуры трения. Износ рабочего слоя (без учета прирабочного слоя) для нового материала за 100 часов испытания составил менее 15 мкм, температура с обратной стороны вкладыша имела более стабильные значения.

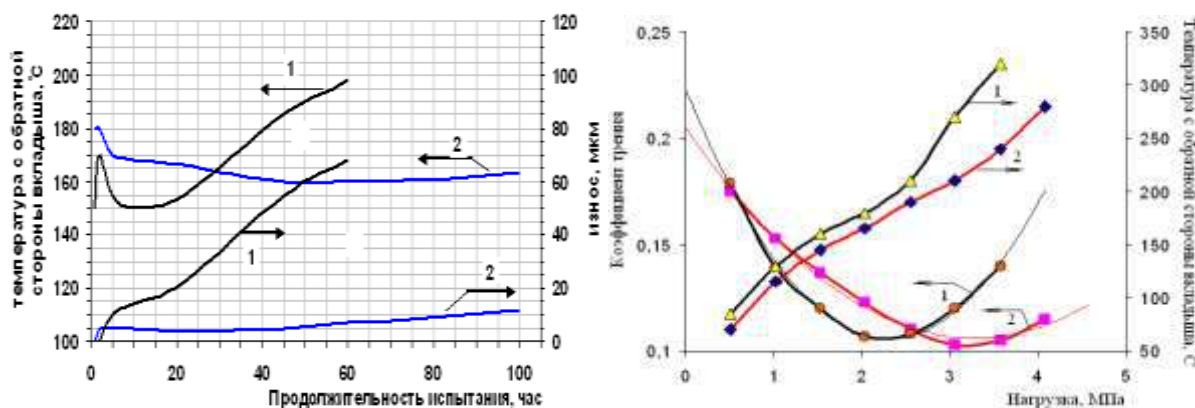


Рис. 6. Триботехнические испытания разработанных ЛиАМ ($p=2$ МПа, $V=3$ м/с). 1 - ЛиАМ с пористым бронзовым слоем из сетки, 2 - ЛиАМ, со столбчатым пористым слоем.

Кратковременные трибоиспытания показали, что кривые зависимостей коэффициентов трения от нагрузки имеют минимумы, выражающие переход трения сопряженных поверхностей от упругой деформации к пластической. Эти минимумы могут характеризовать максимально допустимый нагрузочно-скоростной фактор pV для испытанных материалов.

Исходя из полученных преимуществ разработанный ЛиАМ будет весьма перспективен для высокооборотистых узлов трения (например, в ткацких станках, вентиляторах, дронах и т.п.) а также для получения уплотнительных изделий, например, седловое уплотнение шарового крана, шарнирные сочленения роботов...