

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРМИРОВАННОГО РЕАКТОПЛАСТА ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Р.С. Зиновьев, Ю.А. Мережко

PECULIARITIES OF DESIGNING REINFORCED THERMOSETTING PLASTIC FOR A FRICTION UNIT BEARING

R.S. Zinoviev, Y.A. Merezhko

Применение полимерных композиционных материалов в тяжелонагруженных подшипниках скольжения, работающих без смазки, способствует решению многих технических и экономических проблем. Экономятся дефицитные медесодержащие сплавы, снижается стоимость узла трения, повышается его износостойкость, увеличивается срок эксплуатации машин и уменьшается расход запасных частей. Многочисленные стендовые и эксплуатационные испытания подшипников в различных узлах трения подтвердили правильность и целесообразность использования полимерных композиционных материалов вместо других антифрикционных материалов. В статье приводится алгоритм проектирования армированного реактопласта, разработанный на основе многолетнего опыта создания и отработки подшипников скольжения.

Ключевые слова: намоточные конструкции, подшипники скольжения, армированные реактопласты.

Usage of polymer composite materials in heavy-duty friction bearings helps solve many technical and economical problems. Scarce copper alloys are saved, cost of a friction unit is reduced, at the same time its wear resistance is increased. Thus operation life of machines is increased and spares consumption is reduced. Extensive bench and operation testing of friction bearings in various friction units confirmed correctness and practicability of using polymer composite materials instead of other antifriction materials. Long-term experience enabled the authors to develop an algorithm for designing a reinforced thermosetting plastic for a friction bearing.

Keywords: wound structures, friction bearings, reinforced thermosetting plastics.

Как показывает мировой опыт, в ряде тяжелонагруженных узлов дорожных машин альтернативы использованию деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) нет. Это относится, например, к применению в конструкции балансирного узла дорожной машины «Caterpillar-16G» и автогрейдера ДЗ-140А втулок и шайб из ПКМ. Опыт лабораторной отработки балансирного узла и натурных испытаний автогрейдера ДЗ-140А подтвердил правильность принятых конструктивных решений и перспективность использования ПКМ в узлах трения дорожных машин [1].

Учитывая, что по основным параметрам ПКМ значительно превосходят медесодержащие сплавы, можно с уверенностью сказать, что замена медесодержащих сплавов в подшипниках скольжения ряда узлов трения дорожно-строительных машин и горно-транспортного оборудования является основным технически и экономически обоснованным направлением повышения надежности и долговечности машин. Относительно малый срок эксплуатации подшипников скольжения из ПКМ, до недавнего времени дефицитность исходных компонентов, ранее используемых только в оборонных отраслях, объясняют низкий уровень информированности специалистов о возможностях этих материалов и весьма ограниченный объем использования ПКМ в узлах трения машин.

Контроль и испытания

Рассматривая проблему выбора материала для подшипника скольжения, работающего без смазки или в условиях ограниченного смазывания, необходимо сформулировать комплекс общих механических, триботехнических и технико-экономических требований. Полное удовлетворение этих требований позволило бы конструктору создать подшипник, близкий к идеальному.

Практика машиностроения постоянно корректирует условия эксплуатации узлов трения машин и механизмов, предъявляя в ряде случаев повышенные требования по стойкости к внешним воздействиям. Например, на подшипник опорного катка экскаватора, эксплуатирующегося в различных климатических зонах, воздействуют высокие механические нагрузки при сравнительно невысоких скоростях скольжения. Наоборот, подшипник шестеренного гидронасоса при высоких скоростях скольжения испытывает достаточно низкие удельные давления; в то же время необходимо учитывать влияние на материал подшипника агрессивного воздействия перекачиваемой жидкости. Поэтому выбор материала и проектирование подшипника должны вестись с учетом конструктивных особенностей узла трения и реальных условий его эксплуатации. В ряде случаев конструктивные решения являются эффективным средством повышения срока службы агрегата. Конструкция подшипника скольжения и узлы трения должны сводить к минимуму или полностью устранять вредное влияние отрицательных характеристик материала (низкая теплопроводность, хрупкость) и в полной мере использовать положительные его свойства (износостойкость в условиях сухого трения и ограниченной смазки).

И все же в наибольшей степени только обоснованный выбор материала обеспечивает высокий срок службы узла трения агрегата или машины, снижает количество ремонтных работ, а значит, уменьшает потери вырабатываемого продукта из-за непроизводительных простоев оборудования.

Высокую нагрузочную способность подшипника и узла трения в целом обеспечивают высокие физико-механические характеристики материала, в первую очередь прочность при сжатии в трансверсальном направлении и сдвиге в плоскости скольжения. В то же время материал должен обладать упругими свойствами, обеспечивающими стойкость подшипника к концентрациям напряжений при перекосах оси (вала).

Материал должен обладать повышенной теплостойкостью. Величина максимальной температуры использования материала, при которой происходит его разрушение либо резкое падение механических характеристик, должна быть больше температуры окружающей среды не менее чем на 80–100 °С.

Материал должен обладать достаточно высокой стойкостью к агрессивным воздействиям таких факторов окружающей среды, как влажность, температура, солнечное облучение. При этом должна обеспечиваться стабильность геометрических параметров и формы подшипников. Так, уменьшение рабочего диаметра втулки или увеличение толщины ее стенки в результате повышения температуры и влажности окружающей среды не должно приводить к значительному изменению сборочного диаметрального зазора. Отклонение от круглости формы (эллипсность) цилиндрической втулки в процессе складского хранения не должно превышать 0,8–1,0 % от диаметра втулки.

Основное значение при выборе материала для подшипника сухого трения имеет высокая износостойкость. Минимальная интенсивность изнашивания поверхности трения находится в прямой зависимости от выполнения требования положительного градиента механических свойств материала по глубине стенки подшипника, т. е. $d\tau_z/dz > 0$, где τ_z – разрушающее напряжение в направлении плоскости скольжения, z – координата, перпендикулярная к плоскости скольжения. Износ рабочей поверхности подшипника выше предельной величины нарушает точность взаимного расположения рабочих органов (шестерен, уплотнительных элементов и т. д.) и значительно повышает уровень их нагруженности. Кроме того, повышенный износ приводит к динамической неустойчивости подшипника и вибрации, возможности его разрушения в процессе эксплуатации узла трения. Не должно резко снижать износостойкость поверхности трения попадание загрязненного масла, содержащего продукты изнашивания рабочих органов, окалину и другие абразивные включения. Подшипники из этих материалов в случае проникновения в зону трения сред, не обладающих смазывающими свойствами (вода, охлаждающая жидкость и т. п.), должны сохранять работоспособность.

Материал должен иметь возможно минимальный коэффициент трения, что позволит снизить непроизводительные потери на трение, упростить конструкцию и повысить КПД узла трения.

При работе в паре со сталью материал не должен образовывать задиры на сопряженных поверхностях трения, приводящие к аварийным ситуациям и снижающие надежность машины. Материал должен минимально изнашивать металлическое контртело.

Материал должен обладать хорошей прирабатываемостью, что обеспечивает сокращение этапа приработки подшипника и увеличение срока его эксплуатации.

Исходные компоненты для изготовления подшипников должны быть недефицитными. Их транспортировка не должна создавать технических сложностей, а их стоимость должна быть по возможности минимальной.

Материал должен обладать достаточно хорошей технологичностью, а способ изготовления подшипников из этих материалов должен быть удобным для организации централизованного серийного производства большой номенклатуры взаимозаменяемых деталей. При этом трудоемкость и доля ручного труда при изготовлении подшипников должны быть минимальными.

Среди всех перечисленных требований к материалу подшипника скольжения необходимо выделить две основные группы, с анализа которых следует начинать проектирование слоистого материала:

- требования по механическим свойствам материала (прочностные и упругие);
- требования по триботехническим характеристикам (коэффициент трения и износостойкость).

Удовлетворение этих требований наилучшим образом можно обеспечить созданием многофункционального материала, состоящего из ряда последовательно изготовленных слоев, где каждый слой несет свою определенную функциональную нагрузку, а соединенные все вместе образуют монолитную конструкцию, обеспечивая выполнение требований рационального проектирования. Технологическая реализация такой конструкции осуществляется путем последовательного программированного изготовления функциональных слоев. В этом случае получение анизотропных композиционных материалов наиболее доступно для реализации, например, при изготовлении втулок. Такие операции осуществляются методом намотки. Поиск рациональных технических решений при проектировании (или выборе) материала, в наибольшей степени отвечающего вышеперечисленным требованиям, обеспечит реальные предпосылки снижения себестоимости и трудоемкости изготовления подшипников, повышения долговечности работы узлов трения. На основе опыта разработки и внедрения подшипников скольжения из армированных реактопластов в узлы трения дорожных и дорожно-строительных машин можно предложить практические рекомендации (рис. 1) по последовательности оценки свойств антифрикционных материалов при проектировании подшипника скольжения из ПКМ.

В предложенном алгоритме (рис. 1): $[f_{тр}]$ – допускаемый коэффициент трения; $[\Pi^-]$ – допускаемая статическая прочность материала при сжатии; $[\Pi^-] = \Pi^- / k$, где Π^- – статическая прочность материала, k – нормативный запас прочности, гарантирующий надежность работы пары трения с точки зрения прочности, $k = 1,4 \div 1,5$ [2–4]; σ_p^- – расчетные напряжения сжатия в материале; $[\epsilon_c]$ – допускаемая деформация стенки подшипника, обеспечивающая нормальное функционирование узла трения; $[J]$ – допускаемая интенсивность (скорость) изнашивания подшипника скольжения.

Предложенный алгоритм предполагает последовательную оценку свойств материала сначала на экспериментальных образцах и опытных моделях, а затем расчетную проверку силовой и тепловой нагруженности подшипника в узле трения. Если в предложенном алгоритме оценка свойств по критериям $[f]$, $[\Pi^-]$, $[J]$ не вызывает сомнений и может быть проведена на экспериментальных образцах, то оценка по критерию $[\epsilon_c]$ требует проведения расчетов элементов узла трения, учитывающих упругие свойства рассматриваемых материалов. Схему выбора материала по данному критерию можно продемонстрировать путем анализа прочностных характеристик четырех материалов, представленных на рис. 2.

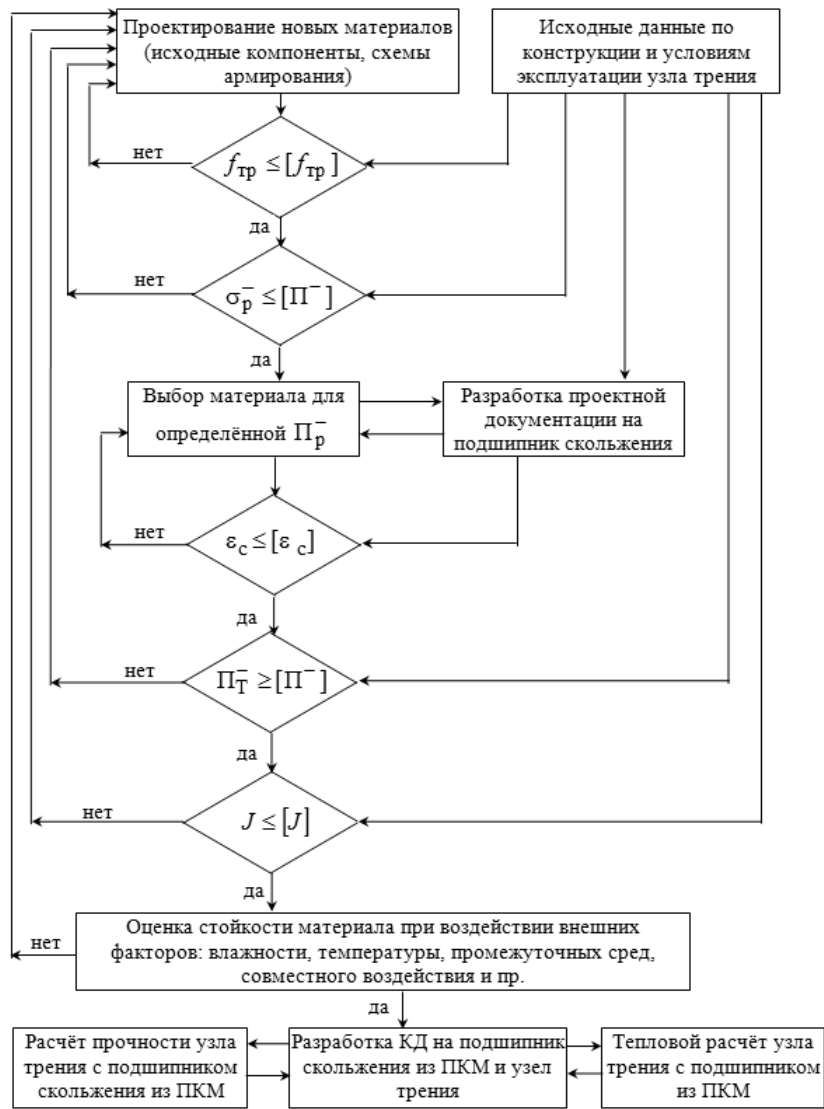


Рис. 1. Алгоритм оценки свойств материала при проектировании подшипника скольжения из армированного реактопласта

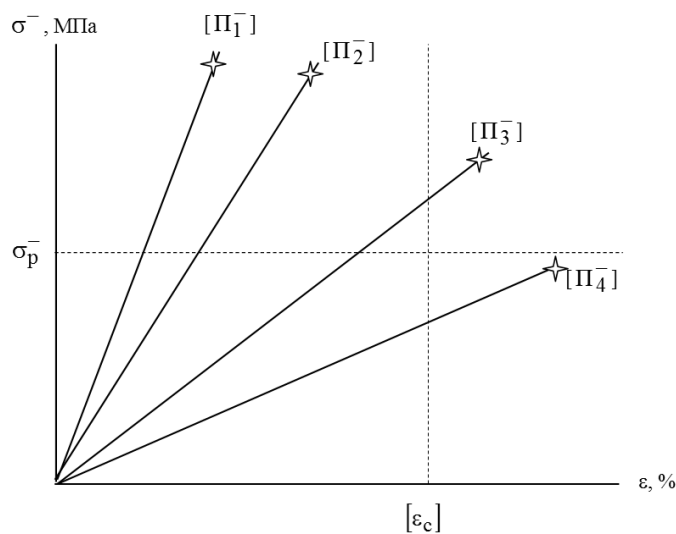


Рис. 2. К вопросу оценки материала по критериям [Π] и [ε_c]

На рис. 2 $[P_1^-] - [P_4^-]$ – допустимая прочность при сжатии каждого из четырех материалов. Очевидно, что не должны допускаться к дальнейшему рассмотрению все материалы, допустимая прочность которых ниже расчетных напряжений. Из оставшихся материалов могут быть выбраны лишь те, у которых упругие деформации стенки в процессе эксплуатации не вызовут нарушения работоспособности или нормального функционирования основного агрегата. Например, нарушение нормального зацепления зубьев шестерен в редукторе и т. п. При удовлетворении критерия $\epsilon_c \leq [\epsilon_c]$ и равной допустимой прочности предпочтение следует отдать материалу с большей упругостью, обеспечивающей большую стойкость подшипника к «кромочным» эффектам.

Многолетний опыт отработки подшипников из намоточных реактопластов подтвердил правильность и целесообразность такого подхода при анализе возможности использования ПКМ вместо других антифрикционных материалов, что и было подтверждено многочисленными стендовыми и эксплуатационными испытаниями подшипников в узлах трения различных машин.

Литература

1. Мережко, Ю.А. Техничко-экономическое обоснование эффективности использования полимерных композиционных материалов в конструкциях автогрейдеров, бульдозеров и путеукладчиков завода дорожных машин им. Коллющенко / Ю.А. Мережко, В.С. Танин-Шахов, Р.С. Зиновьев. – Челябинск: Изд-во ГНПК «Полидор», 1992.
2. Композиционные материалы. В 8 т. Т. 3: Применение композиционных материалов в технике / под ред. Б. Нотона; пер. с англ. под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. – М.: Машиностроение, 1978. – 511 с.
3. Земляков, И.П. Прочность деталей из пластмасс / И.П. Земляков. – М.: Машиностроение, 1972.
4. Раевский, А.И. Полиамидные подшипники / А.И. Раевский. – М.: Машиностроение, 1967.

Поступила в редакцию 14 февраля 2012 г.

Зиновьев Радий Сергеевич. Кандидат технических наук, доцент, технический директор, группа научно-промышленных компаний «Полидор», г. Челябинск. Область научных интересов – способы переработки полимерных композиционных материалов. Тел.: (351) 903-34-89; e-mail: zinoviev@polidor.ru

Radii S. Zinoviev. Candidate of engineering science, associate professor, technical director, “Polidor” group of companies, Chelyabinsk. The area of scientific interests – methods and technology of processing of polymer composite materials. Tel.: (351) 903-34-89; e-mail: zinoviev@polidor.ru

Мережко Юрий Александрович. Кандидат технических наук, председатель совета директоров, группа научно-промышленных компаний «Полидор», г. Челябинск. Область научных интересов – внедрение современных технологических процессов изготовления изделий из полимерных композиционных материалов. Тел.: (351) 247-94-07; e-mail: merezhko@polidor.ru

Yuri A. Merezko. Candidate of engineering science, chairman of the Board, “Polidor” group of companies, Chelyabinsk. The area of scientific interests – innovative technologies in manufacturing details made of polymer composite materials. Tel.: (351) 247-94-07; e-mail: merezhko@polidor.ru