плотности тока проходило одинаковое количество электричества (рис. 1).

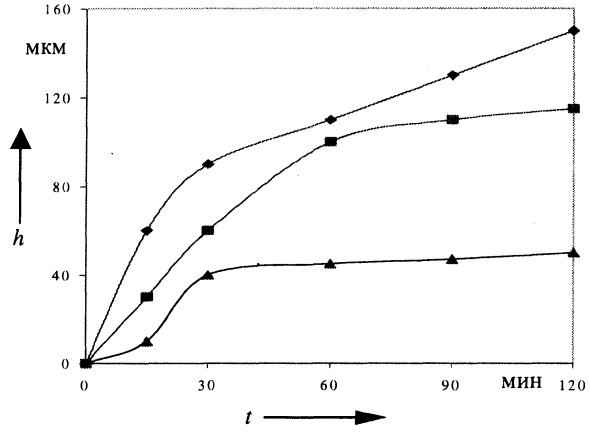

Рис. 1. Зависимость толщины покрытия от времени оксидирования и начальной плотности тока: –◆– i = 25 А/дм^2; –■– i = 10 А/дм^2; –▲– i = 5 А/дм^2

Однако покрытие растет до определенного предела, примерно до 200...300 мкм. Для дальнейшего роста необходимы более мощные дуговые разряды, способные пробить оксидную пленку. Такие разряды приводят к дефектам покрытия в виде пор, наслоений и к разрушению сформированного ранее слоя.

Через 60 мин оксидирования количество пор в покрытиях, сформированных в обоих режимах, становится одинаковым. Несмотря на снижение количества пор в покрытиях, полученных при анодно-катодном режиме, их сквозная пористость со временем возрастает (от 0,25 до 3 %), а при импульсном режиме, наоборот, уменьшается до минимума (от 1,3 до 0,2 %). Это связано с увеличением в покрытии крупных пор, в то время как при импульсном режиме нанесения их количество меньше.

На основании результатов исследований можно сделать вывод, что для повышения ресурса деталей машин за счет упрочнения рабочих поверхностей методом МДО можно успешно применять источники, реализующие как анодно-катодный, так и импульсный режимы. Выбор того или иного режима определяется прежде всего условиями эксплуатации деталей машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Черненко В. И.** Получение покрытий анодно-искровым электролизом. – Л.: Химия, 1991. – 128 с.

2. **Баковец В. В., Поляков О. В., Долгопсова И. П.** Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. – 1991. – 168 с.

3. Метод дугового оксидирования / Г. А. Марков, В. И. Белеванцев, О. П. Терлеева и др. // Вест. МГТУ. Сер. Машиностроение. – 1992. – № 1. – С. 34–56.

УДК 674.038.6:621.822

НАДЕЖНЫЕ И ЭКОНОМИЧНЫЕ САМОСМАЗЫВАЮЩИЕСЯ ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ТОРЦОВО-ПРЕССОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Канд. техн. наук ВРУБЛЕВСКИЙ В. Б.,
докт. техн. наук ДОВГЯЛО В. А., канд. техн. наук, доц. НЕВЗОРОВА А. Б.

Белорусский государственный университет транспорта

Узлы трения с подшипниками качения сельхозмашин, транспортирующих механизмов (ленточных, цепных) и другого технологического оборудования промышленных предприятий, работающих в абразивных, агрессивных, влажных средах и в воде, корродируют, заклинивают, зачастую преждевременно выходят из строя. При этом в процессе эксплуатации они требуют регулярного обслуживания и постоянной смазки. В производстве подшипников качения необходимо использование высококачественной стали, специальных станков и энергоемкого термообору-

дования. Многие подшипники качения, а также антифрикционные сплавы (баббит, бронза, латунь и др.) и полимеры импортируются в Республику Беларусь из России и стран СНГ.

Поэтому создание недефицитных износостойких антифрикционных материалов и разработка узлов трения из них, обеспечивающих надежность и увеличивающих срок службы современной техники, эксплуатирующейся в разных условиях, остается актуальной проблемой.

Одним из таких материалов является прессованная древесина [1, 2]. В машиностроении в узлах трения в натуральном виде она применялась только из очень твердых пород: самшит, бук, дуб, граб, клен и ясень. С развитием техники, возросшими скоростями и нагрузками подшипники скольжения были заменены подшипниками качения.

Однако и в настоящее время на транспортных и пассажирских морских судах дальнего плавания дейдвудные подшипники с внутренним диаметром до 600 мм и длиной до 2500 мм набирают из вкладышей древесины бакаута, имеющего плотность $\rho = 1{,}17\ldots1{,}2$ г/см^3 [3]. Он произрастает в тропиках Африки и является дорогостоящим и дефицитным.

В то же время широко распространенная древесина березы, спрессованная до $1{,}2\ldots1{,}3$ г/см^3, по механическим свойствам не уступает бакауту.

В БелГУТе создан новый класс износостойких, самосмазывающихся, самоупрочняющихся, антифрикционных материалов на основе прессованной древесины [4], подшипники скольжения из которой работают в абразивно-агрессивных средах в режиме самосмазки. По сроку службы они превосходят подшипники качения, а также подшипники скольжения из бронзы, баббита, чугуна, второпласта и других антифрикционных материалов в 2...3 раза при эксплуатации в идентичных условиях.

Самосмазывающиеся подшипники скольжения (ПСС) могут использоваться практически во всех отраслях промышленности, в том числе в машиностроении, угольной и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте и т. д.

Однако до настоящего времени прессованная древесина не нашла широкого применения из-за ее природного свойства впитывать влагу, и следовательно, разбухать, а при ее удалении – усыхать; прессованная древесина при этом распрессовывается, и подшипники скольжения из нее защемляют вал.

С целью предотвращения распрессовки подшипников скольжения из прессованной древесины разработаны различные способы конструктивного их исполнения [5–7], которые прошли всесторонние лабораторные и производственные испытания в многочисленных узлах трения, показали высокую износостойкость при работе в агрессивно-абразивных средах и по сроку службы в несколько раз превысили подшипники качения и ПСС из бронзы, баббита, текстолита и других материалов.

Но все эти способы производства подшипников скольжения не получили широкого применения из-за сложного и энергоемкого технологического процесса, длительной влаготермообработки и металлоемкой оснастки.

Однако учитывая, что по причине износа узлов трения 30...40 % машин и механизмов простаивает, нами была поставлена цель – найти новый способ высокоэффективного изготовления износостойких ПСС на основе прессованной древесины, являющейся местным и недефицитным возобновляемым сырьем. Породой была выбрана древесина березы – самая распространенная из всех видов пород с равномерным капиллярно-сосудистым строением, обеспечивающим при пропитке распределение смазки по всему объему. При одинаковой степени прессования береза имеет наибольшие прочностные показатели по сравнению с другими породами. Для разработки высокопроизводительной технологии изготовления ПСС за основу был взят способ торцового деформирования, так как:

- при трении на торец древесина имеет самую высокую износостойкость – в 3...9 раз больше, чем поперек;
- вдоль волокон предел прочности (в 2...3 раза) и твердость (в 1,5...2 раза) больше, наименьшее разбухание, усушка, теплопроводность и проницаемость жидкостями выше, чем поперек.

Разработанные прежде приспособления и установки торцового деформирования не нашли применения, так как они не обеспечивали получения качественных вкладышей, а именно при торцовом деформировании во всех случаях по наружному диаметру втулки происходило рас-

трескивание по всей поверхности (образовывались микротрещины). Теоретическими исследованиями установлено, что образование микротрещин происходит вследствие незначительного увеличения размера поверхности по наружному диаметру, вызывающего при торцовом деформировании разрушение клеточных стенок. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что растрескивание исключается при одновременном, даже незначительном, прессовании заготовки по наружной поверхности, осуществляемом в процессе деформирования. Это обеспечивается при помощи гибкой дискретной системы, при изгибе которой размер по оси остается неизменным; по внутренней поверхности происходит уменьшение размера за счет вращения звеньев относительно друг друга, в то время как по наружной поверхности идет увеличение размера (рис. 1). Применение гибкой дискретной системы позволило обеспечить при деформировании одновременное прессование по наружной поверхности втулок в пределах 8...20 %, а по внутренней – 45...57 % в зависимости от ширины звеньев (рис. 2).

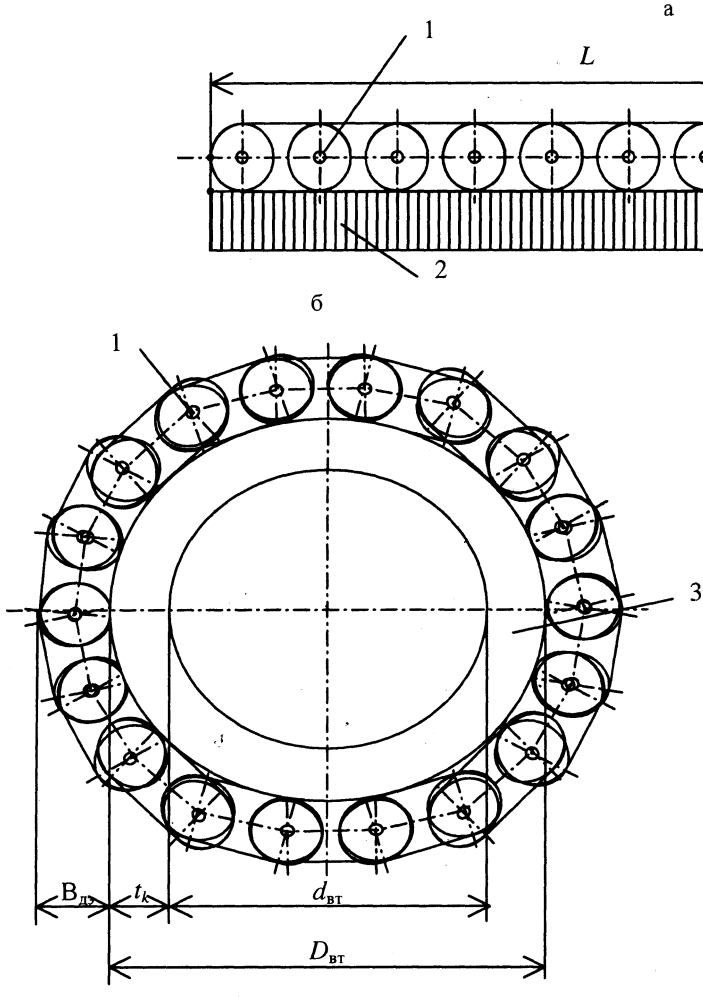

Рис. 1. Геометрическая модель гибкой дискретной системы 1 в процессе торцово-прессового деформирования древесной заготовки 2 во втулку 3: а – в начале процесса деформирования; б – в конце

Рис. 2. Зависимость степени прессования древесной втулки ПСС-205 по наружному 1 и внутреннему 2 диаметрам от ширины гибкой дискретной системы при толщине древесной заготовки 12 мм и длине 220 мм

Подобное деформирование не требует влаготермообработки заготовок. Содержание влаги в заготовке 12...18 %, что соответствует влажности воздушно-сухой древесины для нашего региона. Одновременно разработана конструкция ПСС, стабильных по размерам и взаимозаменяющих подшипники качения и ПСС из традиционных материалов [8].

Для производства таких ПСС были сконструированы и изготовлены высокопроизводительные полуавтоматы, которые могут выпускать 600...700 подшипников в смену.

Принцип работы установок заключается в качественном, равномерном деформировании древесной заготовки во втулку с одновременным ее прессованием по всему объему и исключает появление микротрещин по наружной поверхности.

ПСС, изготовленные данным способом, показали высокую работоспособность и износостойкость при работе в абразивно-агрессивных средах и в условиях переменной влажности. Они прошли испытания на лабораторных стендах БелГУТа, ИММС НАНБ, АП ГПЗ и ГЗПД, государственные испытания на машиноиспытательной станции Министерства промышленности Республики Беларусь, а также производственные испытания на многих предприятиях и заводах нашей республики, стран СНГ и за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сидоренко А. К.** Применение прессованной древесины в узлах трения машин. – М.: Машиностроение, 1965. – 97 с.

2. **Хухрянский П. Н.** Опыт применения прессованной древесины для изготовления деталей машин. – М.: ГОСИНТИ, 1962. – 95 с.

3. **Архангельский Б. А.** Неметаллические судовые подшипники. – Л.: Судпромгиз, 1957. – 130 с.

4. **Врублевская В. И.** Триботехнические характеристики древесины и научные основы создания и применения антифрикционных самосмазывающихся древесно-полимерных материалов: Дис. ... докт. техн. наук. – Л., 1987. – 385 с.

5. **Врублевская В. И., Врублевский В. Б., Невзорова А. Б.** Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. – Гомель, 2000. – 323 с.

6. **Белый В. А., Врублевская В. И., Купчинов Б. И.** Древесно-полимерные конструкционные материалы и изделия. – Мн.: Навука і тэхніка, 1980. – 280 с.

7. Пат. 2488 (Республика Беларусь). Способ изготовления подшипника скольжения / В. Б. Врублевский, А. Б. Невзорова, В. И. Врублевская, П. И. Антошков.

УДК 629.113

ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРОЦИЛИНДРА В ЗАДАЧАХ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГИДРОПРИВОДА

Канд. техн. наук, проф. АВТУШКО В. П., инж. ЖИЛЕВИЧ М. И.

Белорусский национальный технический университет

Целью данного исследования является повышение степени адекватности динамической модели гидропривода путем расчетно-теоретических исследований динамических характеристик привода на переходных режимах движения поршня исполнительного гидроцилиндра.

Уравнения движения подвижных элементов гидродвигателя – неотъемлемая (а в ряде случаев определяющая) составная часть его динамической модели, и формируются они на основе равновесия движущегося элемента под действием приложенных сил и моментов.

С учетом сил давления жидкости, сил трения и полезной (преодолеваемой) нагрузки уравнение движения поршня гидроцилиндра можно записать в виде