УДК 674.76+621.891

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ (ОБЗОР)

А. Б. НЕВЗОРОВА[+], В. Б. ВРУБЛЕВСКИЙ, В. И. ВРУБЛЕВСКАЯ

Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова 34, 246653 г. Гомель, Беларусь.

В статье рассматривается история создания подшипников скольжения на основе древесины в России, Беларуси и других странах, а также достигнутый уровень разработок в этой области в настоящее время.

Введение

Подшипники скольжения из древесины твердолиственных пород были известны более 5 тысяч лет назад, когда жители древней Месопотамии изобрели колесо. Пара «деревянный вкладыш–ось» была первым подшипниковым узлом в повозках, колесницах, подъемных механизмах и др. (рис. 1) [1]. И в настоящее время на грузовых и пассажирских морских судах дальнего плавания дейдвудные подшипники с внутренним диаметром до 0,6 м и длиной до 2,5 м набирают в основном из вкладышей древесины бакаута [2, 3]. Среднее давление в опорах при этом достигает 0,4 МПа, скорость скольжения – 4÷5 м/с. Бакаут или гваякум (бакаутовое или гваяковое дерево) произрастает в лесах тропической Америки. Древесина бакаута очень плотная (ρ = 1,17÷1,2 г/см^3) и прочная (отсюда название «железное дерево»). На судах внутреннего плавания из-за дефицита бакаута применяют вкладыши из текстолита и резинометаллических планок, набранных аналогично бакаутовым [4].

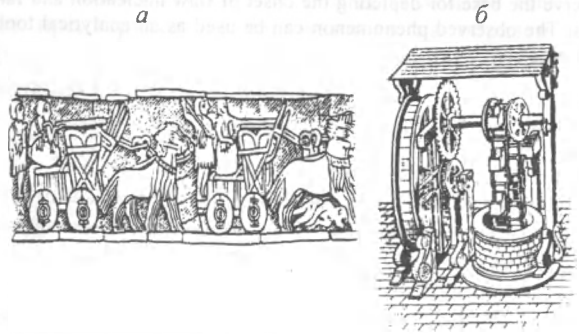


Рис. 1. Средневековые повозки (*а*) и подъемные механизмы (*б*)

С развитием техники и повышением нагрузок подшипники скольжения из древесины полностью были вытеснены подшипниками качения и скольжения из антифрикционных материалов (баббит, бронза, чугун и др.). При работе в абразивных, агрессивных и влажных средах эти подшипники корродируют, заклинивают, требуют регулярного подвода смазки и технического обслуживания, и в таких случаях их использование становится нецелесообразным из-за преждевременного выхода из строя не только самих подшипников, но и сопряженных с ними деталей.

В связи с этим исследователи и производственники стали возвращаться к древесине, которая при прессовании и модифицировании специальными смазочными материалами может работать в специфических условиях: абразивной и агрессивной средах, переменных влажности и температуре, без подвода регулярной смазки и др., и превышает по износостойкости некоторые антифрикционные материалы для подшипников.

В машиностроении в натуральном виде применяется древесина только очень твердых пород: бакаут, самшит (редкие породы), бук, дуб, граб, клен и ясень (запасы их ограничены). В то же время береза, широко распространенная в средней полосе Европы и прессованная до плотности 1,2÷1,3 г/см^3 по механическим свойствам не уступает древесине самшита и бакаута [4].

Впервые способ прессования (уплотнения) древесины был описан в 1892 г. [5], а в 1915 г. братьям Пфлеймер (Австрия) был выдан патент на материал из уплотненной древесины, названный лигностоном – «каменное дерево» [6].

С целью использования цельной древесины в машиностроении прессование ее было осуществ-

+ Автор, с которым следует вести переписку.

лено на Брянском машиностроительном заводе в 1930–1931 гг. [7], но настоящее свое развитие это направление получило после Великой Отечественной войны в г. Воронеже, где в творческом содружестве ученые ряда воронежских ВУЗов и производственники машиностроительных заводов под руководством проф. П. Н. Хухрянского разработали оригинальные способы прессования древесины (одноосное, контурное, торцовое и поперечное гнутье с прессованием), различные конструкции подшипников скольжения из нее и произвели многочисленные испытания непосредственно на предприятиях [8–11].

В дальнейшем эти способы прессования начали развиваться в других научно-исследовательских и учебных институтах. Большой вклад в области прессования, деформирования, пропитки ее антифрикционными модификаторами древесины, создании оборудования и оснастки для изготовления из нее подшипников скольжения, испытаний их в лабораторных и производственных условиях внесли работы В. Ф. Анненкова, А. В. Апостола, В. А. Белого, Г. В. Берзиньша, Н. И. Винника, В. Е. Вихрова, В. И. Врублевской, С. В. Генеля, Ю. В. Гнусова, Т. А. Дарзиньша, В. В. Денисенко, В. М. Заложных, Б. И. Купчинова, А. И. Калниньша, Г. Д. Новикова, Н. Т. Нысенко, Б. И. Огаркова, В. В. Решетняка, В. Г. Родненкова, И. С. Самодурова, В. Н. Савицкого, В. П. Скрупскиса, А. К. Сидоренко, А. И. Смольякова, А. Е. Чаадаева, В. А. Шамаева и др.

В Республике Беларусь исследования по применению прессованной древесины в машиностроении впервые начали проводиться в 1963 г. в Институте механики металлополимерных систем под руководством академика Белого В. А., к. т. н. В. Ф. Анненкова, а затем и член-кор. НАНБ Купчинова Б. И. [12–15]. Были созданы новые самосмазывающиеся материалы на основе древесины и пластичных модификаторов, способные конкурировать с традиционными антифрикционными материалами в узлах трения подшипников качения и скольжения. Крупносерийное производство новых материалов и изделий из них было организовано на Гомельском заводе пластмассовых изделий.

Конструктивные и технологические особенности изготовления подшипников скольжения

Подшипники из древесины контурного и одноосного прессования. Известные методы конструирования подшипников скольжения основывались на простой замене материала и практически копировали форму металлических подшипников скольжения. В случае применения в подшипниках модифицированной древесины контурного прессования (рис. 2) не обеспечивался эффект самосмазывания, т. к. смазка в основном выделялась через торцы подшипника, и незначительное количество ее поступало в зону трения через поры и сердцевинные лучи. Износостойкость такого подшипника низкая из-за действия силы трения, направленной поперек волокон древесины. При работе таких подшипников во влажных условиях резко снижалась их долговечность вследствие распрессовки и зажима вала [16].

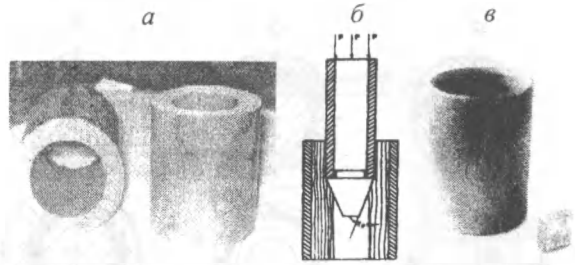


Рис. 2. Втулка-заготовка для контурного прессования (*а*), схема пресс-формы для контурного прессования (*б*), втулка после прессования (*в*)

Исследованиями установлено, что высокой износостойкостью обладает древесина в условиях трения на торец, поэтому многочисленные работы были посвящены разработке подшипников скольжения, у которых волокна древесины были расположены перпендикулярно контактной поверхности [16].

Исполнение подшипников скольжения из прессованной древесины одноосного прессования путем вытачивания из цельных брусков монолитных втулок, особенно крупногабаритных, связано с малым коэффициентом использования высококачественной древесины, большими затратами на ее механическую обработку и изготовлением неунифицированной металлоемкой оснастки [16–18]. Кроме того, в таких подшипниках сочеталось трение на торец и вдоль волокон. Поэтому разрабатывались многочисленные конструкции подшипников путем набора нарезанных брусков древесины одноосного прессования (ДП-О), в которых волокна были направлены параллельно радиусу или близко к этому направлению.

Наибольшей формоустойчивостью обладали подшипники, выполненные в виде наборных элементов из древесины одноосного прессования и запрессованные в пазы ступицы, а также подшипники, собранные в «бочку» или «ласточкин хвост» в тонкостенном металлическом сепараторе и запрессованные вместе с ним в посадочное место ступицы, а также запрессованные в тонкостенную металлическую обойму при последующей завальцовке краев (рис. 3) [19]. Изготовление таких подшипников требует высокой точности геометрических размеров вкладышей и обоймы, больших затрат на механическую обработку, специальных устройств для их фиксации, сложной подгонки, что резко повышает его стоимость и усложняет конструкцию подшипника.

Анализируя достоинства и недостатки различных способов получения древесно-металлических втулок [20–22] и втулок с радиальным или частично радиальным расположением волокон [23–25], в Воронежском лесотехническом институте был разработан способ получения втулок с заданными свойствами из трапециевидных сегментов с различным расположением во-

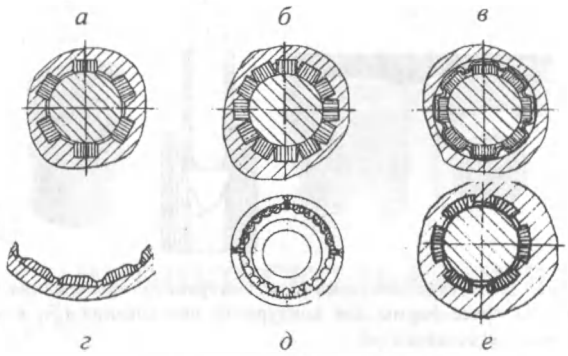


Рис. 3. Варианты набора подшипников скольжения из брусков ДП-О: *а, б* – бруски, запрессованные в пазы металлической обоймы; *в* – прямоугольные элементы, собранные в тонкостенном металлическом сепараторе и запрессованные вместе с ними в посадочное место ступицы; *г* – набранные в «бочку», *д* – набранные «в бочку» с упорными металлическими планками; *е* – запрессованный в пазы «ласточкин хвост»

локон, который осуществлялся с помощью специальной прессовой оснастки [26].

Стремление к получению качественных втулок из прессованной древесины привело к разработке способа их изготовления из *прямоугольных торцовых пластин, нарезанных из ДП-О*.

Изготовление втулок *1* производится при помощи устройства (рис. 4, *а*), включающем: ограничительный контур *2*, прессовую шайбу *3*, конический приемник, состоящий из трех частей – конус верхний *4*, конус нижний *6*, соединенные между собой цилиндрической втулкой *5*, промежуточную обойму *7*, вспомогательный конус *8*, корпус подшипника *9* [27].

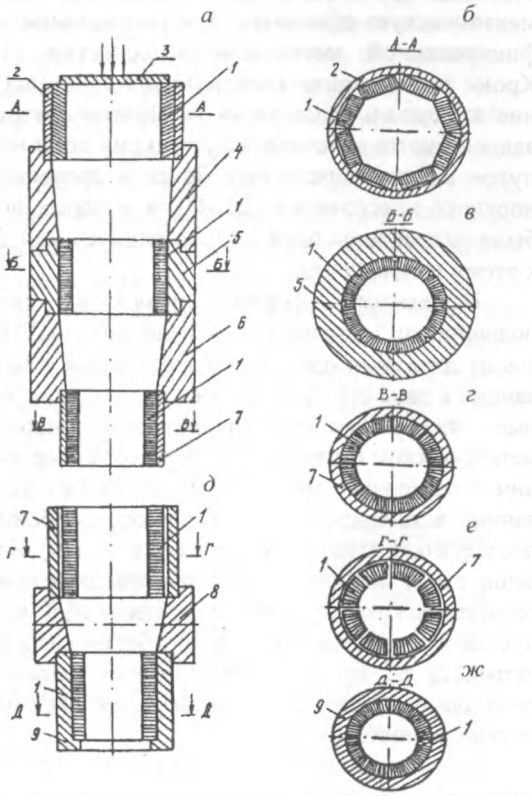


Рис. 4. Схема устройства для получения из древесины вкладышей подшипников: *1* – втулка; *2* – ограничительный контур; *3* – прессовая шайба; *4* – верхний конус; *5* – цилиндрическая втулка; *6* – нижний конус; *7* – промежуточная обойма; *8* – вспомогательный конус; *9* – корпус подшипника

Из брусков натуральной или прессованной древесины плотностью 0,8÷1.0 г/см^3 и влажностью 8–12% нарезают прямоугольные торцовые пластины *1* толщиной (5÷7). шириной (10÷15), высотой (30÷60 мм) и укладывают их в виде многогранника в ограничительный контур *2* так, чтобы волокна древесины были направлены вдоль радиуса. Затем ограничительный контур *2* устанавливают на сочлененный между собой конусо-цилиндрический приемник *4–6*, который, в свою очередь, устанавливают на промежуточную обойму *7* и на прессе через шайбу *3* перепрессовывают набранный из пластин древесины многогранник *1* сначала через конус *4* в цилиндрическую часть приемника *5* до неполного сжатия пластин своими боковыми поверхностями (рис. 4, *в*), а затем через конус *6* в промежуточную обойму *7* до полного их сжатия (рис. 4, *г*).

Промежуточные обоймы *7* с запрессованными в них вкладышами *1* помещают в камеру для сушки или в минеральные жидкости до полного удаления влаги из древесины. При этом вкладыши отделены от обоймы зазором, обусловленным полной усушкой (рис. 4, *д, е*).

Затем вкладыши, находящиеся в этих же обоймах, пропитывают водоотталкивающими антифрикционными веществами по известным режимам и с помощью вспомогательного конуса *8* окончательно запрессовывают в корпус подшипника *9* (рис. 4, *д*) с расчетным натягом.

Плотность на внутренней поверхности втулки достигает 1,2÷1,3 г/см^3, а по наружной поверхности ≥ 0,8 г/см^3. После каждого цикла промежуточные обоймы *7* и корпус подшипника *9* заменяют новыми.

Важную роль при осуществлении данного способа играет исходная влажность торцовых пластин, которая должна быть 8÷12%. При этой влажности пластины обладают хорошей эластичностью и гибкостью. Пластины с влажностью < 8% обладают заметной хрупкостью и разрушаются при запрессовке уже на первом этапе. Пластины с влажностью > 12% хотя и обладают высокой эластичностью, но дают большую усушку и сильно коробятся.

Описанные способы [26, 27] длительны и трудоемки в подготовке брусков, вырезке пластин, укладке их в ограничительный контур, а также технологически сложны при последующем прессовании втулок.

Способы изготовления двухслойных втулок. Разработаны способы изготовления двухслойных втулок подшипников скольжения, состоящих из вкладышей в виде сегментов из древесины с ради-

альным расположением волокон, размещенных в обойме из древесины с концентрическим расположением волокон [28]. Способы получения двухслойных втулок [23–25, 29] сложны технологически и дают большой брак при склеивании отдельных сегментов во втулку из-за несовершенства прессовой оснастки.

Способы изготовления втулок торцовым гнутьем с радиальным расположением волокон и устройства для их осуществления. В основу всех способов изготовления вкладышей для узлов трения заложено торцовое гнутье, или гнутье заготовок на торец. Это связано с тем, что вкладыши из древесины при работе торцовой поверхностью обладают более высокой износостойкостью по сравнению с вкладышами из древесины с направлением волокон радиальным или продольным.

Гнутье древесных заготовок происходит с помощью шинки (металлической ленты). При приложении усилий изгибающий момент действует параллельно волокнам, причем в изогнутом виде эти волокна направлены по радиусу кривизны. Перед гнутьем древесину предварительно размягчают пропариванием или нагревом. Пропаривание производят над парами кипящей воды или в пропарочных котлах при температуре 100–105 °С. Закрепление формы загнутой заготовки достигается сушкой древесины в сушильных камерах до влажности 10–12%. Оптимальной влажностью древесины для торцового гнутья считают 15–18% [8]. На загнутых заготовках при большей влажности в процессе сушки по выпуклой внешней поверхности образуются многочисленные трещины [8, 30].

Приведем краткие описания наиболее известных способов изготовления подшипников из гнутопрессованных древесных заготовок и различные устройства для осуществления этих способов.

В улиткообразных устройствах для гнутья [31, 32] древесная заготовка укладывается в шинку, имеющую на одном из концов улитку, под которой установлена пресс-форма с внутренней конической поверхностью, а внутри – стержень, снабженный клиновидным приливом с отверстиями для подачи клеящего состава, и приемник, диаметр которого на 30÷40% меньше расчетного диаметра заготовки. В другом случае заготовка подается на вход в улиткообразующую направляющую и при помощи давления на толкающую планку подводится к упору на стержне, который, оказывая сопротивление, поворачивается и пропускает заготовку в кольцевой паз. При достижении определенных положений планки и упора заготовка через специальную воронку выталкивается в цилиндр меньшего диаметра, рассчитанный таким образом, чтобы торцы заготовки сошлись [32].

Гнутье карточек 2 любого точно установленного размера заготовок возможно на приспособлении (рис. 5, *а*) с помощью одной шинки *1* толщиной 0,2÷1,0 мм [33, 34]. Достигается это тем, что щеки шинки выполнены в виде двух пар упо-

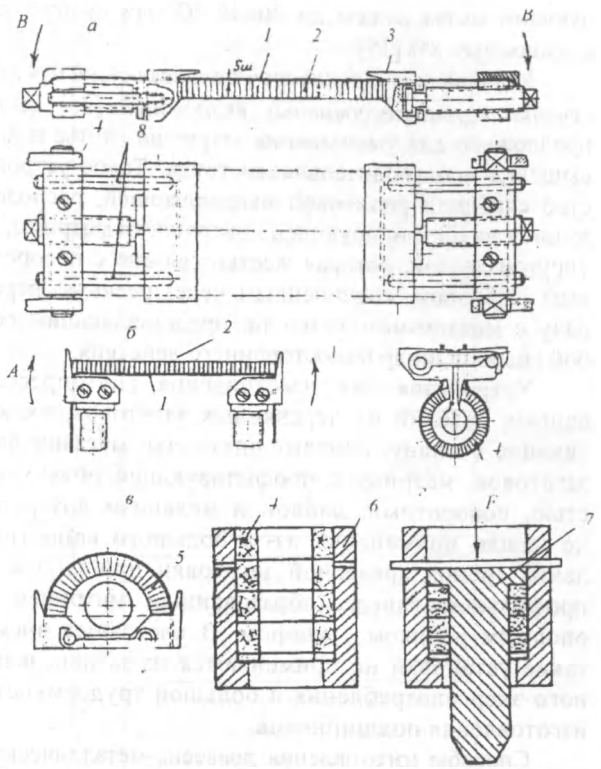


Рис. 5. Схема устройства для гнутья с помощью шинки заготовки-карточки (*а*), во втулку (*б*) и во вкладыш (*в*); схема пресс-формы для прессования (*г*): *1* – шинка; *2* – карточка; *3* – упоры; *4* – втулка; *5* – полувтулка; *6* – пресс-форма; *7* – пуансон

ров: одна – для гнутья втулок (рис. 5, *б*), другая – для гнутья полувтулок (вкладышей) (рис. 5, *в*). Пользоваться устройством можно вручную и с механизированным приводом. Затем в пресс-форме *10* (рис. 5, *г*) из втулок *9* или вкладышей набирается подшипник и пуансоном *11* производится прессование поперек волокон.

Разработаны *устройства для торцового гнутья вкладышей, их уплотнения и пропитки*, которые позволяют повысить производительность и автоматизировать процесс модифицирования [16]. Перед гнутьем на модернизированном устройстве заготовки влажностью 6÷10% предварительно нагревают до 90÷140 °С в автоклаве или масляной ванне. Нагретые заготовки помещают в лоток, по которому пуансоном их проталкивают с усилием 2÷6 МПа в профильный канал, образованный матрицей и роликом. При проталкивании заготовки происходит последовательное ее искривление с одновременным прессованием внутренних слоев древесины на 15÷20% и пропиткой антифрикционным наполнителем, подаваемым по каналу к внутренней поверхности заготовки. Для предупреждения скалывания древесины при гнутье заготовку защемляют в канале путем воздействия на нее со стороны упора ролика усилием 1,5÷2,5 МПа, а со стороны толкающего пуансона – усилием 20÷60 МПа. После изгиба заготовку проталкивают в калибрующий канал, где происходит ее дальнейшее осевое уплотнение на 20–25% под действием давления 4,0÷7,0 МПа с после-

дующим охлаждением до 30÷40 °С или сушкой до влажности 6÷8% [35].

Устройство с роликовой направляющей для получения гнутопрессованных вкладышей [36] было предложено для уменьшения затрат на гнутье и повышения производительности труда. Такое устройство снабдили роликовой направляющей, расположенной на профилирующей поверхности матрицы, и упругой лентой, которая жестко связана с поворотным шаблоном, соединенным через реечную передачу с механизмом возврата, представляющим собой гидроцилиндр одностороннего действия.

Устройства для изготовления гнутопрессованных изделий из деревянных заготовок, включающие станину, силовые элементы, магазин для заготовок, матрицу с профилирующей поверхностью, поворотный шаблон и механизм возврата, не нашли применения из-за большого сопротивления трения древесной заготовки при гнутье в профильном канале, образованным матрицей и опорным роликом с упором. В настоящее время такие установки не применяются из-за повышенного энергопотребления и большой трудоемкости изготовления подшипников.

Способы изготовления древесно-металлических втулок набором из прессованных секторов [20, 21] включают формообразование установленных в ограничительный контур пластин, покрытых клеем по бокам, путем их запрессовки с натягом в металлическую обойму через конический приемник. Втулки получаются с неравномерной плотностью по сечению и ограниченной толщины, так как торцовые древесные пластины с большой толщиной и малым радиусом изгиба не поддаются гнутью и разрушаются при проходе через конический приемник. Кроме того, втулки после усушки до влажности 2÷3 % разрушаются по клеевым швам.

По способу, описанном в работе [22], втулки с радиальным расположением волокон и равномерной плотностью по сечению получают набором из трапециевидных сегментов практически с любой толщиной стенки. Однако и этот способ не получил широкого распространения из-за длительной и сложной операции склеивания сегментов во втулку, предусматривающий обязательное применение распарочных автоклавов с давлением пара 0,15÷0,20 МПа в течение 1÷2 ч, что вызывает сильную коррозию металлических обойм и пресс-форм [26].

Для исключения механической обработки прессованных прямоугольных элементов, из которых набираются подшипники, был предложен технологический процесс прессования элементов сектора кольца (совмещенное прессование и формообразование) и сборки из них подшипников в тонкостенной металлической обойме с завальцованными краями [37]. В качестве заготовки берется прямоугольная пластина, выпиленная из бруска на торец, размер которой в направлении прессования определяется по заданной степени уплотнения, а остальные размеры соответствуют заданным параметрам пресс-формы (рис. 6), в которой заготовка при прессовании лишается всех степеней свободы.

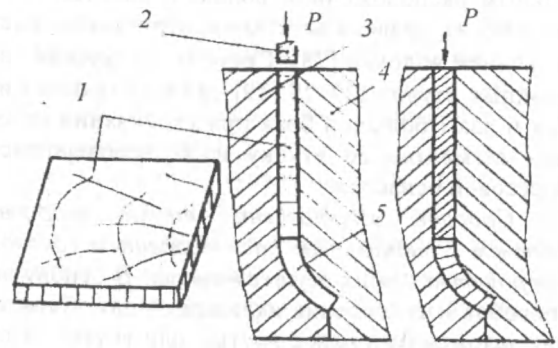


Рис. 6. Схема прессования элемента сектора кольца, не имеющая ни одной степени свободы: *1* – заготовка; *2* – пуансон; *3,4* – щелевидная матрица; *5* – криволинейный паз

Заготовка *1* влажностью 8÷10% вкладывается в щелевидную матрицу *3*, *4* и в таком положении прогревается до 90 °С (температура пресс-формы 180÷200 °С). Затем усилием *P* пуансона *2* заготовка вгоняется в криволинейный паз *5*, подвергаясь в процессе продвижения деформации изгиба и сжатия.

Процесс объемного прессования и формообразования сектора протекает одновременно и дополнительная осевая подпрессовка в процессе сборки подшипника, которая является неотъемлемой частью существующих способов прессования втулок торцового гнутья с последующим осевым прессованием, не требуется. Кроме того, структура прессованной древесины сжата в одном направлении, что в значительной степени улучшает ее физико-механические свойства. Однако оснастка для изготовления подшипников по данной технологии является металлоемкой и сложной в изготовлении, и такой способ не нашел широкого распространения.

Разработан ряд вариантов конструкции подшипников, собранных из элементов сектора кольца, которые запрессовываются в посадочные места без клея. Торцы элементов закрепляются шайбами, предохраняющими их от скалывания. При изготовлении подшипников увеличенной длины они делаются составными по длине. Элементы и подшипник в металлической обойме от поворота в посадочных местах защищены соответствующей прессовой посадкой. Данный способ обеспечивает стабилизацию размеров элементов, исключает механическую обработку их по всем поверхностям кроме внутренней, позволяет при прессовании применять повышенные давления, не разрушая волокон древесины. Однако и этот способ не лишен недостатков. При усыхании элементов ослабляется посадочный натяг, а заготовка должна иметь строго определенные размеры, так как изменение объема канала пресс-формы не предусмотрено.

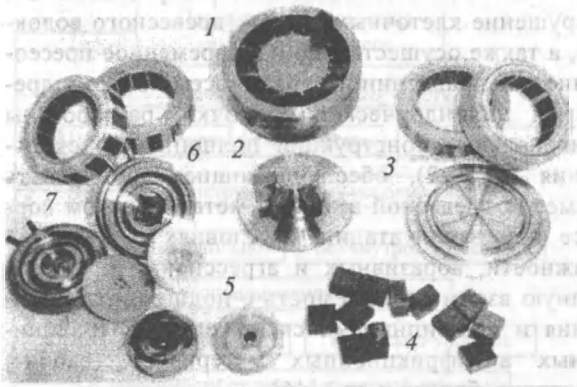


Рис. 7. Различные варианты конструктивного оформления подшипников скольжения и пресс-форма для их изготовления: *1* – корпус пресс-формы (матрица); *2* – матрица; *3* – крышка; *4* – вкладыши; *5* – подшипники с одним вкладышем; *6*, *7* – крышки пресс-формы для заливки полимера

Древесно-полимерные подшипники скольжения. Наряду с технологическими способами повышения долговечности и нагрузочной способности учеными ИММС НАНБ было разработано конструктивное оформление подшипников, принципиально отличающихся от известных [38, 39] тем, что подшипники (рис. 7) состоят из наборных вкладышей прессованной древесины, консервация и бандажирование которых производится термопластичным полимером (капрон, полиэтилен, полипропилен и др.) [40]. Наружная облицовка вкладышей полимером обеспечивает их консервацию, а бандаж – упругую фиксацию вкладышей от осевых и радиальных смещений. Вкладыши *4* изготавливали из отходов деревообрабатывающих производств и наполняли перед прессованием различными веществами с целью повышения их прочностных и антифрикционных свойств. Затем их набирали таким образом, чтобы волокна располагались по радиусу, а направление прессования – по касательной к окружности. Фиксирование вкладышей в пазах, выполненных на матрице *2* пресс-формы, позволяло формировать на внутренней поверхности подшипника специальные канавки для аккумулирования смазки и осаждения абразива [38].

Как показали исследования, влагопоглощение и объемная распрессовка древесины в наборных подшипниках в несколько раз ниже, чем у подшипников из цельной прессованной древесины. Однако с течением времени происходит старение полимера и нарушение целостности полимерной оболочки.

Таким образом, все описанные способы получения втулок из прессованной древесины не обеспечивали их полную формоустойчивость при эксплуатации в условиях переменной влажности. Разбухание и последующая усадка деталей в радиальном направлении часто приводили к разрушению материала. Это затрудняло хранение прессованной древесины, снижало надежность работы деталей и ограничивало область ее применения.

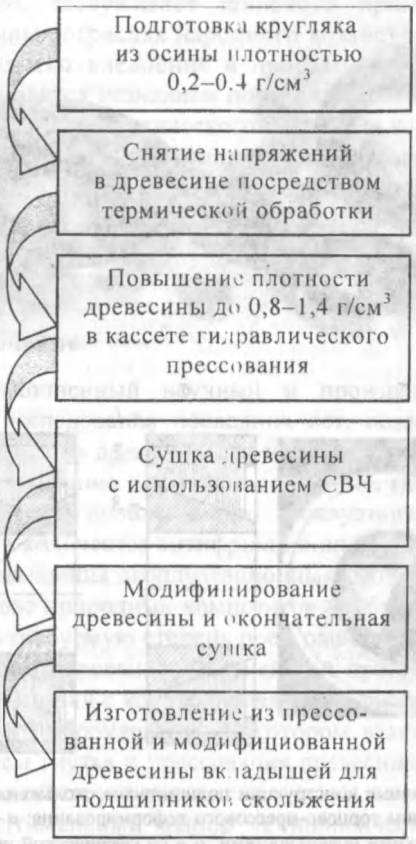


Рис. 8. Технологическая схема изготовления прессованной древесины для вкладышей подшипников

В то же время высокая работоспособность и износостойкость в абразивно-агрессивных средах прессованной древесины - этого возобновляемого, повсеместно произрастающего прочного природного композита обусловливает поиск новых путей получения стабильных деталей из нее, что имеет большое значение для машиностроения.

Оценка теоретических и практических достижений ученых в этой области позволила усовершенствовать технологию получения прессованной древесины, создать новый способ конструирования и изготовления износостойких самосмазывающихся подшипников скольжения [41, 42].

В настоящее время учеными Воронежской лесотехнической академии разработана полуавтоматическая линия для производства сверхплотной древесины [43]. Для этого в качестве сырья они использовали гибрид осины и тополя. Технологическая схема изготовления такой древесины приведена на рис. 8. Применение впервые технологии всерхвысоких частот (СВЧ) предполагает, что в процессе сушки дерево не будет разорвано изнутри. Такая модифицированная и спрессованная древесина используется не только для подшипников скольжения, но и для деталей паркета, погонажных изделий для мебельного производства. Это одно из современных направлений использования высоких технологий для улучшения свойств древесины с целью применения ее в узлах трения.

Однако есть и другое направление в этой об-

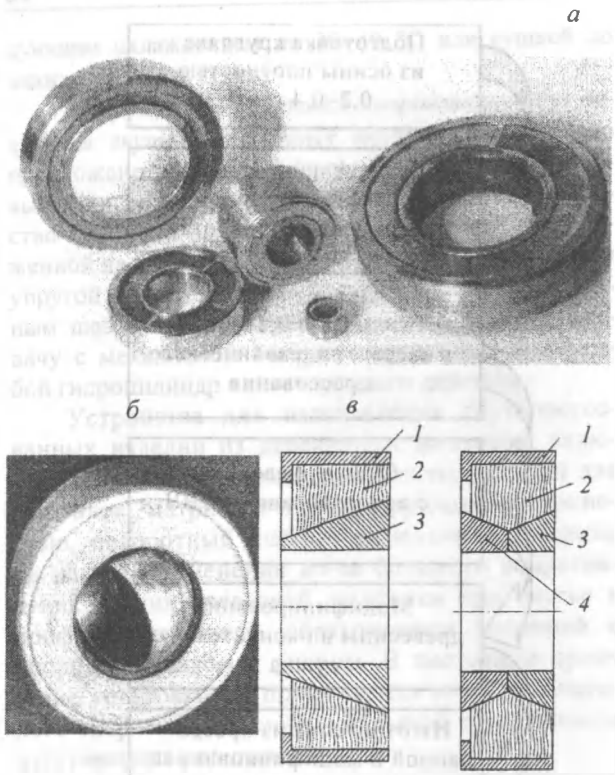


Рис. 9. Различные конструкции подшипников скольжения на основе древесины торцово-прессового деформирования: *а* – ПСС с цилиндрическими поверхностями; *б* – со сферической поверхностью; *в* – с конической поверхностью: *1* – наружное металлическое кольцо, *2* – вкладыш из древесины торцово-прессового деформирования, *3*, *4* – внутреннее металлическое кольцо

ласти, развиваемое специалистами Белорусского государственного университета транспорта, в котором стремятся уменьшить количество операций по предварительной подготовке древесины и использовать для вкладышей подшипников скольжения наиболее распространенную лиственную породу, какой является древесина березы.

Анализ ранее разработанных конструкций подшипников скольжения из прессованной древесины показывает, что при их изготовлении имеется необходимость соблюдения высокой точности геометрических размеров древесных элементов; применение специальных устройств для фиксации древесных заготовок; многократная сушка в пресс-форме в сушильных камерах; перепрессовка в металлические промежуточные обоймы. До настоящего момента остается проблема использования отрицательного явления разбухания для его же устранения. В машиностроении подобные технические решения уже встречались. Например, осевые силы, действующие в косозубом зацеплении, устраняются в шевронной передаче, в которой они направлены друг против друга и компенсируются [44]. Поэтому при создании промышленной технологии изготовления подшипников скольжения в Белорусском государственной университете транспорта были поставлены и решены следующие задачи: при деформировании древесины специальной гибкой дискретной системой [45] было исключено возможное ее растрескивание и разрушение клеточных стенок (древесного волокна), а также осуществлено одновременное прессование в направлении изгиба по всему объему древесной цилиндрической оболочки; разработаны оригинальные конструкции подшипников скольжения (рис. 9), обеспечивающие стабильность размеров древесной втулки в металлическом корпусе при эксплуатации в условиях переменной влажности, абразивных и агрессивных средах и полную взаимозаменяемость с подшипниками качения и подшипниками скольжения из традиционных антифрикционных материалов (баббит, текстолит, бронза и др.) [46].

Для обеспечения взаимозаменяемости подшипников качения на подшипники скольжения самосмазывающиеся (ПСС) на основе древесины торцово-прессового деформирования (ТПД) унифицировано конструктивное исполнение по внутреннему и внешнему металлическому кольцу (рис. 10). Подшипники тяжелых серий (*г*, *д*) могут выполняться в двух вариантах: I вариант – наружное кольцо по толщине больше внутреннего, при этом контактная площадь ПСС составляет $S = 1491{,}5$ мм^2. В подшипниках, исполненных по II варианту, внутреннее кольцо по толщине больше наружного. Контактная площадь ПСС соот-

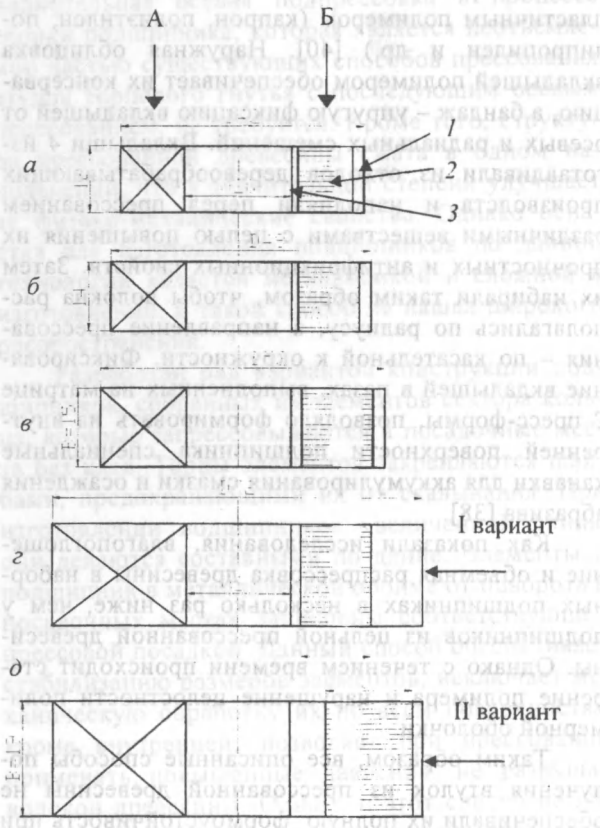


Рис. 10. Подшипники качения (А) и скольжения на основе древесины ТПД (Б) различных серий: *а*) 104 – особо легкая; *б*) 204 – легкая; *в*) 304 – средняя; *г*, *д*) 404 – тяжелая; *1* – наружное кольцо ПСС; *2* – втулка из древесины торцово-прессового деформирования; *3* – внутреннее кольцо ПСС

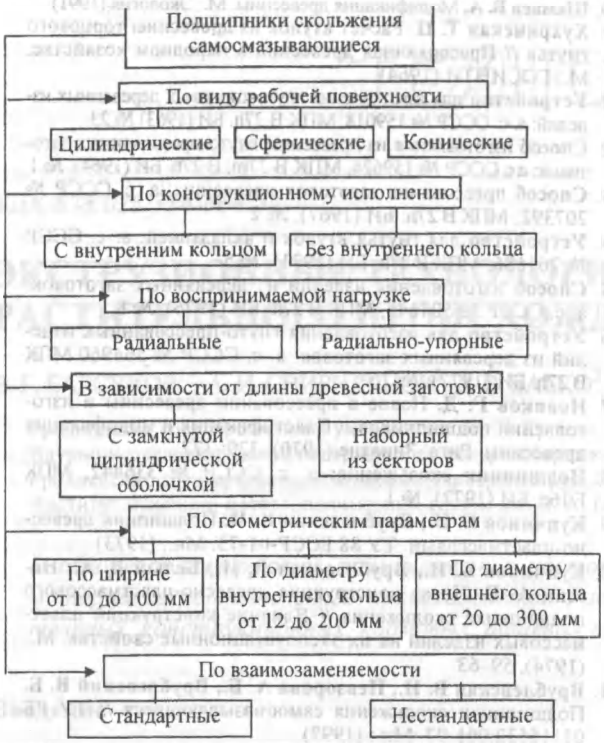


Рис. 11. Классификация подшипников скольжения на основе древесины торцово-прессового деформирования

ветственно составит S = 2028,4 мм^2 и по сравнению с первым вариантом увеличивается на 36%, т. е. на столько же повышается и нагрузочная способность, увеличивается теплоотвод, и тяжелая серия может перейти в среднюю или легкую серии.

Произведена классификация ПСС (рис. 11), позволяющая конкретизировать сферу применения каждого подшипника [47, 48].

В 90-х гг. в Белорусском государственном университете транспорта создан новый класс износостойких самосмазывающихся, самоупрочняющихся антифрикционных материалов на основе прессованной древесины. Разработаны теоретические основы получения стабильных по размерам подшипников скольжения, сконструировано и изготовлено оборудование для их производства, которое было передано на Гомельский подшипниковый завод, где организован крупносерийный выпуск подшипников скольжения [49, 50]. Опытно-промышленная проверка и внедрение разработанных материалов и конструкций узлов трения из них осуществлены на многих промышленных предприятиях РБ и стран СНГ.

Анализ научно-исследовательских, производственных испытаний свидетельствует о высокой работоспособности модифицированной прессованной древесины. Повышение срока службы и упрощение конструктивного исполнения узлов трения, экономия цветных металлов и подшипников качения, снижение трудоемкости изготовления изделий, затрат на ремонт и техобслуживание машин и механизмов – далеко не полный перечень преимуществ нового способа получения подшипников скольжения из древесины, и, естественно, заслуживает широкого применения в различных отраслях народного хозяйства.

Однако внедрение в производство зачастую сдерживается незнанием поведения таких деталей в узлах трения; скептического недоверия ко всему новому, нежеланием отходить от традиционных, устоявшихся и повсеместно применяющихся подшипников качения и скольжения из традиционных материалов; отсутствием современной литературы по данной тематике.

Заключение

Накопленный научный и производственный опыт, исследования последних лет, позволяют утверждать, что древесина является материалом – резервом особенно для машиностроения, где возникают большие проблемы при эксплуатации бесчисленного количества антифрикционных узлов трения. Для повышения эксплуатационных свойств деталей на основе природных композитов необходимо обеспечить требуемую степень прессования древесины и ее модифицирование. Дальнейший прогресс в этой области связан с конструированием нового технологического оборудования, в котором взаимосвязаны процессы гнутья и прессования древесины с учетом ее сложной структуры.

Оптимальный выбор технологических приемов изготовления деталей из древесины обеспечивает получение прочного природного композиционного материала, который превосходит по своим характеристикам (показатели прочности, твердости, триботехнические свойства) многие полимерные антифрикционные материалы, созданные для соответствующего класса деталей машин и механизмов, а по износостойкости – бронзу, баббит и др. При этом необходимо проводить рациональный выбор узлов трения, работающих в абразивно-агрессивных средах при определенных нагрузках и скоростях скольжения, от которых зависит работоспособность подшипников скольжения на основе древесины, заменяющих в этих узлах подшипники качения и подшипники скольжения из цветных и черных металлов.

В настоящее время продолжаются исследования с целью совершенствования технологии изготовления самосмазывающихся подшипников скольжения на основе древесины березы, которые позволят повысить эффективность их применения и конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

Литература

1. **Справочник** по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А. В.Чичинадзе. В 3 т. Т.1. Теоретические основы. М.: Машиностроение (1989)
2. **Архангельский Б. А., Кулагин А. В.** Судовые подшипники из неметаллических материалов. Л.: Судостроение (1969)
3. **Бузков В. А.** Конструкции капронографитовых опор скольжения гребных валов // Применение материалов на основе пластмасс для опор скольжения и уплотнений в машинах. М.: Наука (1968)

4. **Рубин М. Б., Бахарева В. Е.** Подшипники в судовой технике. Л.: Судостроение (1987)
5. **Model K.** Patentschrift N 64289. Deutsches Reich (1892)
6. **Патент** № 291145 (1915)
7. **Облагораживание** древесины. М.: Гос. лесное техн. изд-во (1935)
8. **Хухрянский П. Н.** Прессование и гнутье древесины. М.-Л.: Гослесбумиздат (1949)
9. **Нысенко Н. Г., Генель С. В.** Пластификация цельной древесины. М.-Л.: Гослесбумиздат (1958)
10. **Анненков В. Ф.** Исследование наполненной прессованной древесины: автореф. дис... канд. техн. наук. Воронеж (1967)
11. **Хухрянский П. Н.** Прессование древесины. М.: Лесная промышленность (1964)
12. **Белый В. А., Екименко Н. А., Анненков В. Ф., Врублевская В. И.** Перспективный заменитель черных и цветных металлов // Промышленность Белоруссии (1966), № 4, 46–47
13. **Белый В. А., Анненков В. Ф.** Повышение влагостойкости деталей машин из прессованной древесины при применении наполнителей // Вестник машиностроения (1968), № 2, 22–24
14. **Купчинов Б. И.** Новый метод и технологическое оборудование для формирования подшипников скольжения из материалов на основе древесины // Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук (1975), № 2, 113–118
15. **Купчинов Б. И., Врублевская В. И., Белый В. А.** Подшипники из прессованной древесины // Строительные и дорожные машины (1974), № 1, 26–27
16. **Белый В. А., Врублевская В. И., Купчинов Б. И.** Древесно-полимерные конструкционные материалы и изделия. Мн.: Наука и техника (1980)
17. **Апостол А. В.** Эффективность применения модифицированной древесины в машинах деревообрабатывающей промышленности // Оборудование, автоматизация и вопросы механизации деревообработки. М.: (1984)
18. **Корыстин Д. Н., Самсонов Т. В., Винник Н. И.** Производство деталей из прессованной древесины в Боровичском леспромхозе. М.: Лесная промышленность (1966)
19. **Пластификация** и модификация древесины // Матер. Всесоюз. науч.-техн. совещания. Рига: Зинатне (1970)
20. **Способ** получения древесно-металлических изделий типа втулок: а. с. СССР № 452521, МПК В 32b 13/10, В 27 m 1/02; В 29j 5/00. БИ (1974), № 45
21. **Способ** получения древесно-металлических втулок: а. с. СССР № 863429, МПК В 32b 13/10, В 27m 1/02. БИ (1981), № 34
22. **Способ** получения втулок: а. с. СССР № 409854, МПК 27d 1/08, В 29c 27/10. БИ (1974), № 1
23. **Подшипник** скольжения: а. с. СССР № 1100952, МКИ F16 C 17/00, 33/18. БИ (1984), № 32
24. **Способ** изготовления втулок из прессованного материала: а. с. СССР № 1366399, МКИ В 27 D 1/08. БИ (1988), № 2
25. **Способ** изготовления полых тел вращения из прессованной древесины: а. с. СССР № 1676805, МКИ 5 В 27 М 3/00; В 27 М 1/02. БИ (1991), № 34
26. **Способ** получения втулок из древесины: патент Российской Федерации № 2041805, МКИ 6 В 27 D 1/08. БИ (1995), № 23
27. **Способ** получения подшипников скольжения с вкладышами из древесины и устройство для его осуществления: патент Российской Федерации № 2041810, МКИ 6 В 27 D 1/02. БИ (1995), № 23
28. **Способ** изготовления подшипников скольжения: а. с. СССР № 1380952, МКИ 6 В 27 D 1/02. БИ (1988), № 10
29. **Шамаев В. А.** Модификация древесины. М.: Экология (1991)
30. **Хухрянская Т. П.** Расчет втулок из древесины торцового гнутья // Прессованная древесина в народном хозяйстве. М.: ГОСИНТИ (1964)
31. **Устройство** для изготовления гнуто-торцовых деревянных изделий: а. с. СССР № 159018, МПК В 27h. БИ (1963) № 23
32. **Способ** изготовления из древесины гнуто-прессованных заготовок: а.с. СССР № 159624, МПК В 27m. В 27h. БИ (1964), № 1
33. **Способ** прессования заготовок древесины: а. с. СССР № 207392, МПК В 27h. БИ (1967), № 2
34. **Устройство** для гнутья втулок и вкладышей: а. с. СССР № 261686, МПК В 27h. БИ (1971), № 5
35. **Способ** изготовления изделий из деревянных заготовок: а. с. СССР № 504646, МПК В 27h. БИ (1976), № 8
36. **Устройство** для изготовления гнуто-прессованных изделий из деревянных заготовок: а. с. СССР № 564960 МПК В 27h. БИ (1977), № 26
37. **Новиков Г. Д.** Новое в прессовании древесины и изготовлении подшипников // Пластификация и модификация древесины. Рига: Зинатне (1970), 329–377
38. **Подшипник** скольжения: а. с. СССР № 336442, МПК F 16c. БИ (1972), № 1
39. **Купчинов Б. И., Врублевская В. И.** Подшипник древесно-пластмассовый. ТУ 88 БССР-01-73. Мн.: (1973)
40. **Купчинов Б. И., Врублевская В. И., Белый В. А., Нешик А. П.** Новая конструкция древесно-пластмассового подшипника скольжения // Влияние конструкций пластмассовых изделий на их эксплуатационные свойства. М.: (1974), 59–63
41. **Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В. Б.** Подшипники скольжения самосмазывающиеся // ТУ РБ 01116532.001-97. Мн.: (1997)
42. **Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В.Б.** Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. Гомель: БелГУТ (2000)
43. **Дерево** работает как сталь // Инженер (2001), № 8, с.7
44. **Иванов М. Н.** Детали машин. М.: Высшая школа (1998)
45. **Невзорова А. Б., Врублевский В. Б., Скойбеда А. Т.** Деформирование древесины дискретным элементом // Матер. Симпозиума механики разрушения материалов и конструкций. Белосток (2001) 193–198
46. **Врублевский В. Б.** Исследование процесса торцово-прессового деформирования древесины и создание высокопроизводительного оборудования для изготовления из нее подшипников скольжения: автореф. дис. канд. техн. наук. Мн.: (2002)
47. **Способ** изготовления подшипников скольжения: патент РБ № 2488, 6 F 16 C 33/18. Афіцыйны бюлетэнь Дзяржаунага патэнтнага камітэта (2000), № 2
48. **Сферический** подшипник скольжения самоустанавливающийся: патент РБ № 162 BY, F 16 C 27/02, F 16 C 33/04. Афіцыйны бюлетэнь Дзяржаунага патэнтнага камітэта (2000), № 6
49. **Невзорова А. Б., Врублевская В. И. и др.** Особенности технологического обеспечения изготовления подшипников скольжения на основе древесины // Zeczyty Naukowe Politechniki Bialostockiej, Nauki Techniczne, Nr 139, Budowa I Eksploatacija Maczyn (2001), № 8. 357–362
50. **Невзорова А. Б., Врублевский В. Б., Гафт Г. А.** Технологическое моделирование новых подшипников скольжения // Инженер-механик, 13 (2001), № 4. 17–18

Nevzorova A. B., Vrublevsky V. B., Vrublevskaja V. I.

Bearings of sliding on the basis of wood: the history of development and the future (re view)

In article is considered the history of creation bearings of sliding on the basis of wood in Russia, Byelorussia and other countries, and also the achieved level of development in this area now.

Поступила в редакцию

© А. Б. Невзорова, В. Б. Врублевский, В. И. Врублевская, 2002.