

**VEREMEYCHIK A.I., SAZONOV M.I., HVISEVICH V.M. Research of fields of temperatures on depth of the strengthened detail at influence of a moving plasma stream with use of experimental data on his surface**

In article theoretical and pilot studies of distribution of fields of temperatures at superficial plasma hardening of structural elements of cars and mechanisms are described. The instrument system is developed for the experimental solution of a problem of heat conductivity. The algorithm of the numerical solution of a task with use of a method of final elements is created and the computer program is made. The numerical analysis on the example of steel details is carried out. The numerical and experimental analysis of determination of temperature in various points of a surface at influence of a plasma arch has shown their satisfactory coincidence.

УДК 621.3.029.6:674.8

**Кузнецова В.В., Аникеева М.В., Врублевская В.И.**

## ИЗНОСОСТОЙКИЕ САМОСМАЗЫВАЮЩИЕСЯ ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО КОМПОЗИТА

**Введение.** Узлы трения с подшипниками качения сельхозмашин, транспортирующих механизмов (ленточных, цепных, шнековых) и другого технологического оборудования промышленных предприятий, работающие в абразивных, агрессивных и влажных средах, корродируют, заклинивают, зачастую выходят из строя, не проработав и срока службы. При этом в процессе эксплуатации они требуют постоянного обслуживания и наличия смазки. Выход из строя узлов трения с подшипниками качения и металлическими подшипниками скольжения из бронзы, баббита, чугуна, полимеров и др. различных машин и механизмов по причине износа составляет 85–90%. Затраты на ремонт и техническое обслуживание машины в несколько раз превышает ее стоимость. Поэтому увеличение износостойкости узлов трения занимает одно из центральных мест в комплексной проблеме повышения надежности и долговечности машин и механизмов [1].

Повышение триботехнических характеристик узлов трения возможно при использовании прессованной древесины. Издавна в узлах трения натуральная древесина применялась только очень твердых и дефицитных пород: самшит, бук, дуб, граб, клен и ясень. С развитием техники и возросшими скоростями и нагрузками подшипники скольжения из них были заменены подшипниками качения.

Однако и в настоящее время в подлодках, на транспортных и пассажирских морских судах дейдвудные подшипники валов гребных винтов с внутренним диаметром до 600 мм и длиной до 2500 мм набирают из вкладышей самой плотной и твердой на планете древесины бакаута, имеющего плотность  $\rho=1,17-1,2 \text{ г/см}^3$  [2]. Бакаут произрастает, в основном, в тропиках Америки, является дорогостоящим и дефицитным.

В то же время широко распространенная древесина березы в Беларуси и России схожа по микроскопическому строению с бакаутом (рис. 1), но плотность ее в 2 раза меньше и составляет  $\rho=0,6 \text{ г/см}^3$ , а спрессованная до плотности  $1,2-1,3 \text{ г/см}^3$  по механическим свойствам не уступает бакауту [3].

Береза имеет повсеместное распространение среди лиственных пород и по запасам занимает 2-е место после сосны, что обуславливает недефицитность материала и использование местного сырья для изготовления подшипников скольжения [4].

В Белорусском государственном университете транспорта создан новый класс износостойких недефицитных антифрикционных самосмазывающихся материалов на основе прессованной древесины [5]; разработан новый способ изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессовым деформированием древесных карточек во втулку (ПСС ТПД), сконструированы и изготовлены полуавтоматы с гибкой дискретной системой, обеспечивающей получение втулок за один технологический прием. Данные

полуавтоматы предназначены для крупносерийного производства малогабаритных ПСС и обеспечивают надежность, точность, качество торцового деформирования древесных заготовок во втулки и одновременно необходимую степень прессования заготовки по всему объему. Узел полуавтомата торцово-прессового деформирования древесных карточек 1 во втулку 2 представлен на рисунке 2, а [6–7].

Была разработана конструкция ПС с древесным вкладышем (рис. 2 б, в), состоящего из наружного стального кольца (металлической обоймы) 1 с запрессованной древесной втулкой ТПД 2 и внутреннего стального кольца 3. Подшипник прост в изготовлении и сборке, его конструкция разъемная. ПСС ТПД взаимозаменяемы с ПК различных типоразмеров.

Подшипники скольжения работают в абразивно-агрессивных и влажных средах в режиме самосмазки, бесшумны, не корродируют. По сроку службы они превосходят в 2–5 раз, а иногда и в десятки раз, подшипники качения, а также подшипники скольжения из бронзы, баббита, чугуна, фторопласта и других антифрикционных материалов при эксплуатации в идентичных условиях при  $p$  до 3,5 МПа/м/с.

Они могут использоваться практически во всех отраслях промышленности, в том числе в машиностроении, угольной, пищевой промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте и т. д.

Однако несмотря на это производственники и некоторые ученые к ним относятся скептически и с недоверием, предвзято. Негативное отношение к этому антифрикционному материалу и ПСС ТПД связано из-за непонимания процессов, происходящих при трении. Поэтому целью данной работы является теоретическое обоснование высокой работоспособности и износостойкости прессованной модифицированной древесины в абразивно-агрессивных средах.

**Изучение молекулярного строения компонентов древесинного вещества и субмикроскопического строения клеточной стенки. Построение модели субмикроскопического расположения компонентов в контактной зоне и прилегающих к ней слоев.** Во всех предыдущих исследованиях антифрикционных свойств модифицированной древесины она рассматривалась как блочный капиллярно-пористый материал с определенными физико-механическими свойствами. Процессы, происходящие при трении в контактной зоне, связаны со сложным строением древесинного вещества клеточных стенок и расположением его компонентов по отношению к зоне трения.

Для теоретического обоснования высокой работоспособности ПСС ТПД проводилось изучение сложного строения древесины: микроскопического, молекулярного, субмикроскопического строения древесинного вещества клеточных стенок, которые в совокупности обуславливают высокую ее износостойкость при трении.

**Кузнецова Вероника Владиславовна**, магистр технических наук, ассистент кафедры «Промышленные и гражданские сооружения» Белорусского государственного университета транспорта.

**Аникеева Марта Владиславовна**, соискатель технических наук, инженер 2 категории кафедры «Материаловедение и технология материалов» Белорусского государственного университета транспорта, e-mail: marta.anikeeva@yandex.ru.

**Врублевская Валентина Ивановна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Детали машин, подъемные и строительные машины» Белорусского государственного университета транспорта.

Беларусь, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

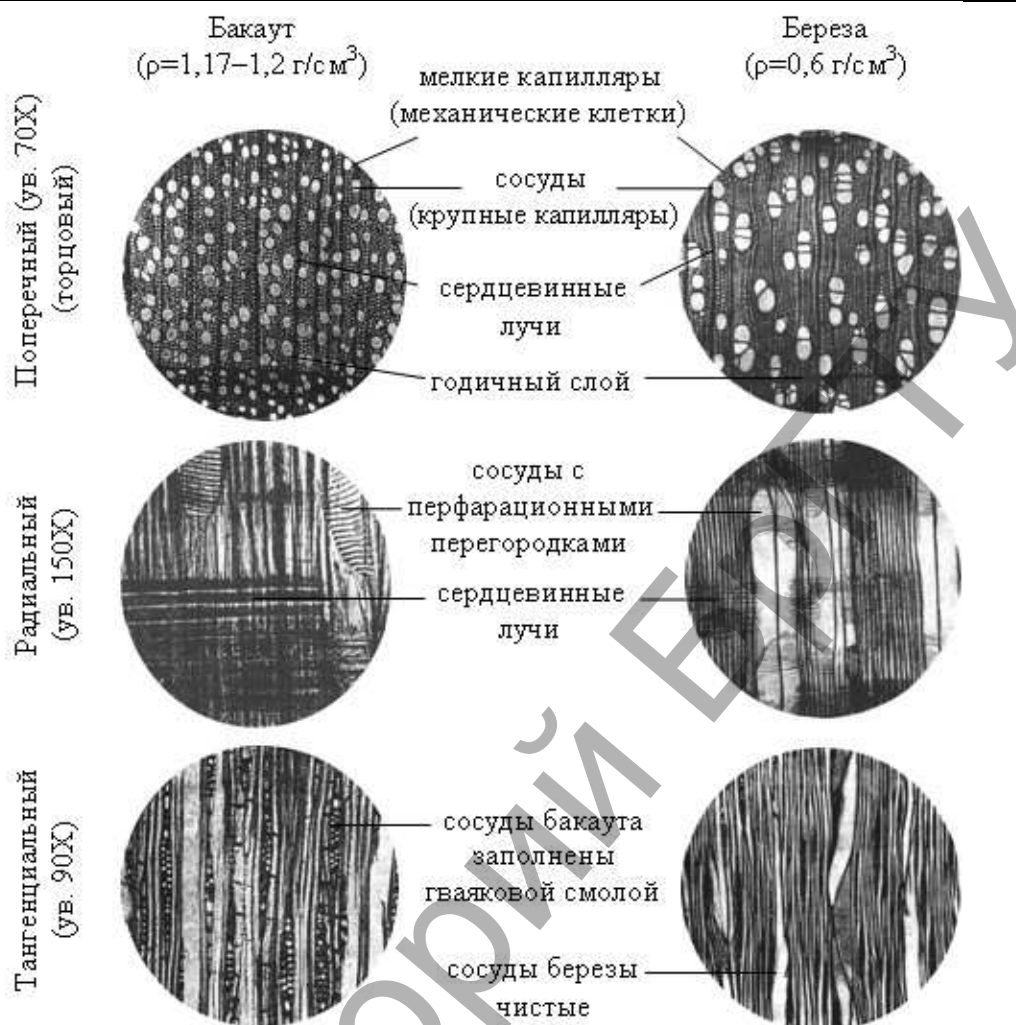


Рисунок 1 – Микроструктуры бакаута и березы на основных срезах

**Микроскопическое строение древесины.** На рисунке 1 представлено микроскопическое строение древесины. Она состоит из клеток: механических, проводящих и запасующих.

**1. Механические клетки** – это древесные волокна, или либриформ, представляющие собой мелкие капилляры диаметром 20–70 мкм, длиной – 0,6–1,7 мм, с толщиной стенки 6–17 мкм. Они занимают от 36 до 70% общего объема.

**2. Сосуды** – крупные капилляры диаметром 70–400 мкм, длиной примерно 100 мм, которые служат для проведения воды вдоль ствола дерева. Имеются только в древесине лиственных пород и занимают до 43% объема древесины.

Все сосуды и капилляры сообщаются между собой через поры диаметром 4–8 мкм. На 1 мм клеточной стенки находится 50–60 пар.

**3. Запасующие клетки**, или древесная паренхима, – это место отложения питательных веществ в живой клетке (занимают от 2 до 15% по объему).

**4. Сердцевинные лучи** выполняют водопроводящие функции в поперечном радиальном направлении. Они представляют горизонтальную систему из узких (однорядных) и широких (многорядных) клеток шириной 0,05–1 мм. Они составляют 2–15% общего объема [3]. Как видно из рисунка 1, на радиальном и тангенциальном срезах все капилляры мелкие и крупные (сосуды) расположены вертикально в стволе дерева, а во вкладыше ПСС они направлены по радиусу ПСС.

**Молекулярное строение древесинного вещества.** Древесинное вещество клеточных стенок (стенок капилляр) – это сложный многокомпонентный природный композит плотностью  $\rho=1,54 \text{ г/см}^3$ , состоящий из целлюлозы ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) $_n$ ; гемицеллюлоз, лигнина, пекти-

новых и экстрактивных веществ (смолы, камедь, эфирные масла, таниды и др.).

Неорганические минеральные вещества, которые при сжигании древесины образуют золу, находятся в лучевых паренхимных клетках.

**Целлюлоза** – линейный высокоориентированный полимер ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) $_n$ , степень полимеризации (СП) которого колеблется от 50–200 до 5000–10000 и более. Длина молекулы равна  $\text{СП} \cdot 0,515 \text{ нм}$  (где 0,515 нм – длина глюкозной единицы  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$  и колеблется в пределах от 25,75 нм до 5150 нм). Элементарное звено макромолекулы целлюлозы ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) содержит три реакционноспособные полярные спиртовые группы – ОН. Никаких разветвлений в молекуле целлюлозы нет, поэтому имеет место интенсивное межмолекулярное взаимодействие через водородные связи ОН. В клеточной стенке макромолекулы целлюлозы вертикально ориентированы и параллельны оси клетки.

**Лигнин** – аморфное природное полимерное вещество, которое имеет небольшую молекулярную массу от 200 до 1000, степень полимеризации составляет 20–35.

Установлено, что лигнин содержит около 10% свободных гидроксильных групп. Плотность абсолютного сухого лигнина  $1,5 \text{ г/см}^3$ . Лигнин относится к хаотически разветвленным полимерам. Макромолекулы лигнина обладают термодинамической гибкостью [8–9].

**Гемицеллюлозы** – полисахариды, как правило, сопутствуют целлюлозе и лигнину. Состоят из гекозанов ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) $_n$  и пентоз ( $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4$ ) $_n$  (ксилоза и уроновые кислоты). Степень полимеризации гемицеллюлоз в среднем 100–200. В клеточной стенке они находятся вместе с лигнином, образуя с ним аморфное вещество, которое как бы окутывает целлюлозные фибриллы, придавая монолитность и прочность клеточным стенкам.

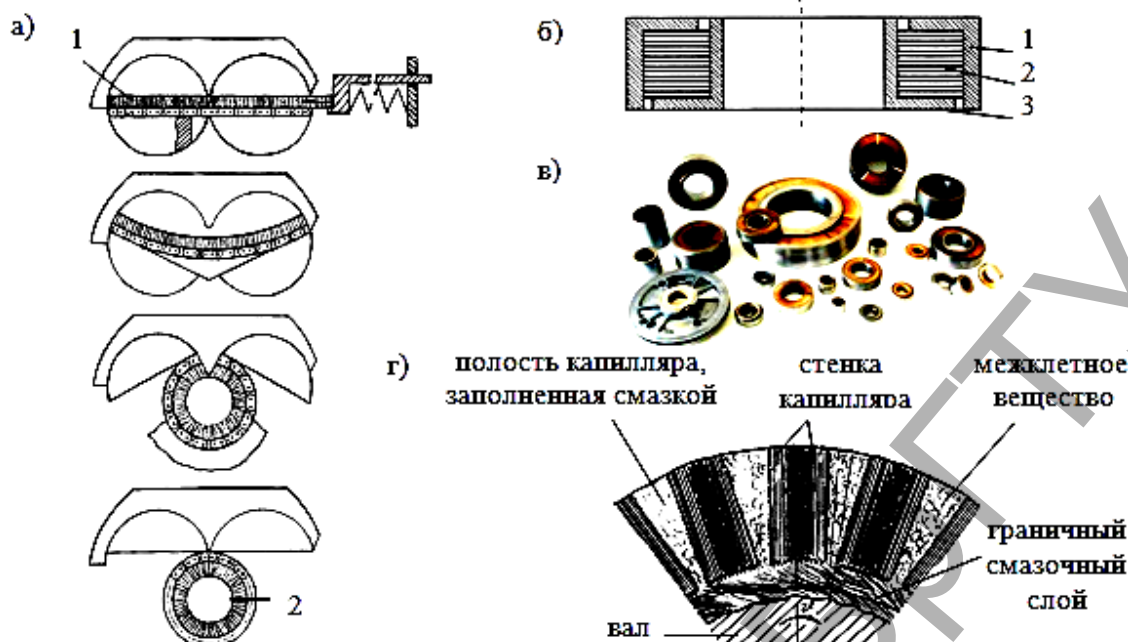
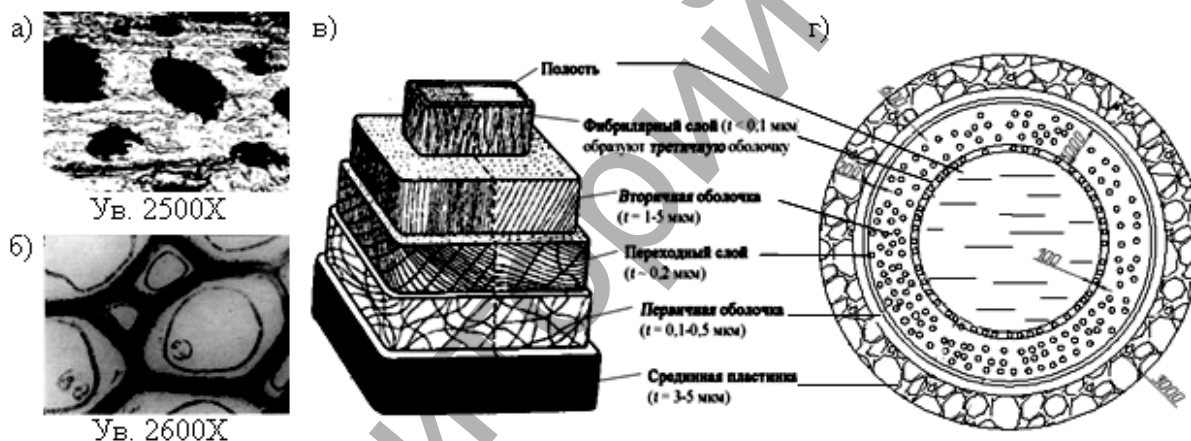


Рисунок 2 – а) узел полуавтомата торцово-прессового деформирования древесных карточек 1 во втулку (вкладыш) 2; б) ПСС ТПД (1 – наружная обойма, 2 – вкладыш ТПД, 3 – внутреннее кольцо); в) фотографии ПСС ТПД, испытанных в узлах трения различных машин и механизмов; г) субмикроскопическая модель трения участка вкладыша 2



а – натуральной; б – ее лигнинный скелет (целлюлоза, разрушенная грибом *Polyporus betulinus*); в – модель тонкого строения волокна клеточной стенки лиственной (слева) и хвойной (справа) древесины; г – модель торцового сечения капилляра (контактной зоны) на субмикроскопическом уровне

Рисунок 3 – Микроструктуры торцового среза древесины березы

**Пектиновые вещества** – кислые полисахариды, представляющие собой высокомолекулярные сложные углеводы растений. Они присутствуют в первичной и третичной оболочках клеточной стенки, придавая им упругость и прочность, а также содержат стенки капилляров в состоянии тургора [10].

**О расположении компонентов древесинного вещества в клеточной стенке, обуславливающих ее субмикроскопическое строение.** Микроструктурный рисунок древесины (рис. 3а) при последовательном удалении составляющих ее компонентов сохраняется (рис. 3б). Интересен способ выделения лигнина биологическим методом, когда воздействуют на древесину некоторыми грибами, разрушающими углеводы и не затрагивающими лигнин. На рисунке 3б представлен лигнинный скелет, или срединная пластинка СрПл, березовой древесины, у которой целлюлоза разрушена грибом *Polyporus betulinus* (ув. 2600X). Как видно из рисунка 3, все клетки объединяются в единую систему (структуру) межклеточным веществом, состоящим в основном из лигнина 60...90%, остальное гемицеллюлозы, образующими СрПл толщиной 3000...5000 нм.

С помощью электронной микроскопии установлено строение клеточной стенки, схематичное изображение которой представлено на рисунке 3, в [11].

Она состоит в основном из целлюлозы. В стенках природных клеток целлюлоза находится в виде фибрилл диаметром 20–40 нм, длиной 1000–2500 нм, которые состоят из отдельных микрофибрилл диаметром около 10 нм и длиной 50–60 нм. Кристаллические микрофибриллы имеют поперечный размер около 5–7 нм и минимальную длину около 30–60 нм.

В зависимости от расположения и ориентации микрофибрилл различают несколько оболочек (слоев) в стенке капилляра (рис. 3в).

К срединной пластинке прилегает **первичный слой** толщиной приблизительно 100 нм, представляющий собой сетку из целлюлозных микрофибрилл, перекрещивающихся под разными углами. Лигнин вместе с гемицеллюлозой и пектиновыми веществами заполняет неплотности между микрофибриллами целлюлозы, как бы цементируя их.

**К первичному слою примыкает переходный слой** толщиной примерно 200 нм, состоящий из концентрических слоев пересекающихся друг с другом микрофибрилл, расположенных под углом 40–50° к оси клетки. Содержит такие же компоненты, как и первичный слой.

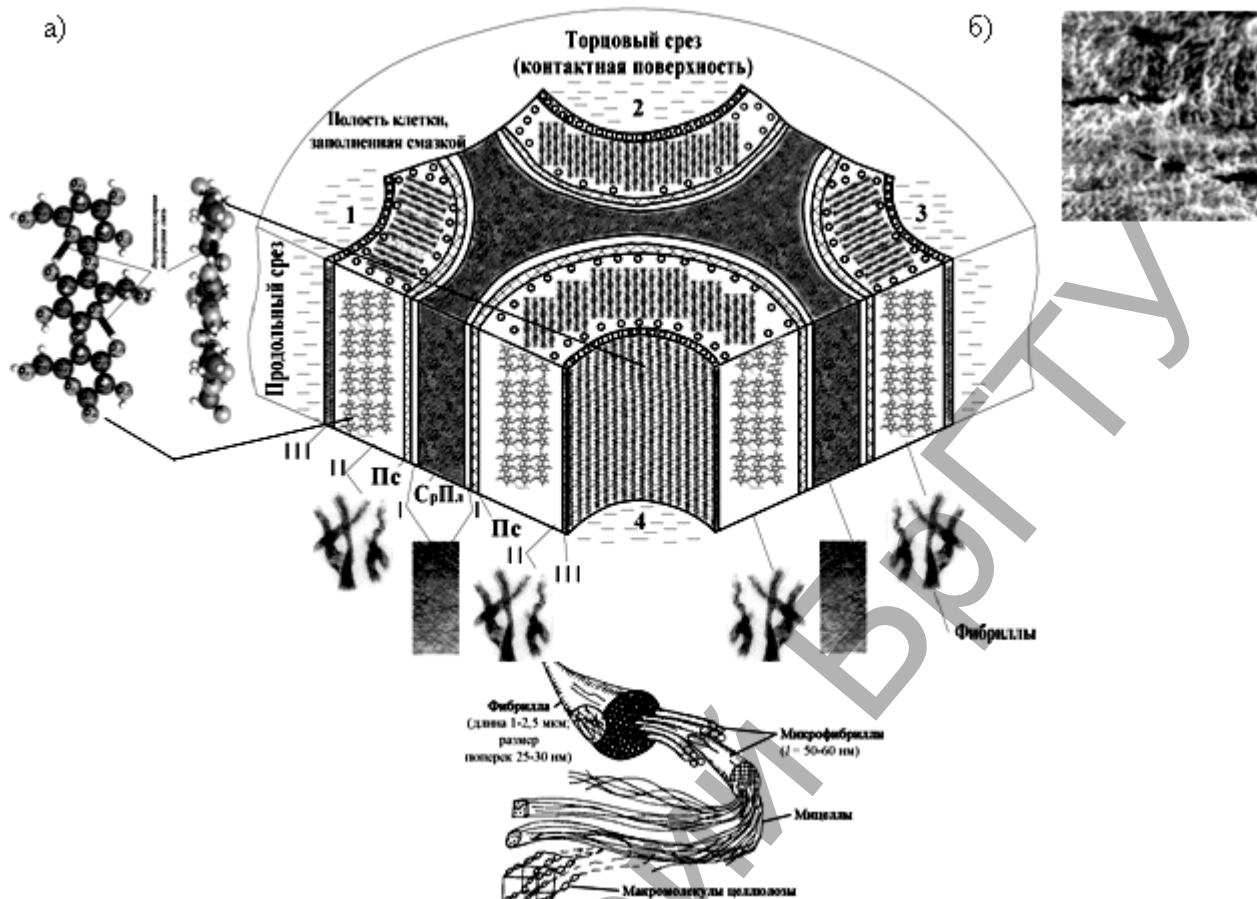


Рисунок 4 – а) модель субмикроскопического расположения слоев (оболочек) в стенках 4-х соседних капилляров и ориентации в них молекул компонентов древесинного вещества; б) микроструктура контактной поверхности ПСС, в полостях которых находится абразив

**За переходным слоем следует самый мощный вторичный слой** толщиной 1000...5000 нм. Он состоит из высокоориентированных микрофибрилл целлюлозы, расположенных под небольшим углом к оси клетки: у лиственной древесины около  $90^\circ$ .

**Третичный, или внутренний, слой** толщиной около 100 нм граничит с полостью клетки. В этом слое микрофибриллы параллельны оси клетки. Поверхность третичного слоя, окружающая полость, у клеток древесины лиственных пород гладкая. Третичный слой обладает большой упругостью и конструктивной прочностью, благодаря содержанию пектиновых веществ.

Первичная и третичная оболочки находятся в состоянии тургора. Даже при максимальном содержании связанной влаги, сопровождающийся разбуханием и ее удалением при усушке в клеточной стенке трещины не образуются благодаря тургору.

Исходя из молекулярного состава древесинного вещества и субмикроскопического строения клеточных стенок, следует, что древесинное вещество – это сложный природный композиционный материал, в котором каждый его компонент имеет строго определенное расположение в клеточной стенке, обуславливающее не только специфические механические свойства древесины, но и ее высокую износостойкость при трении поперек волокон.

У вкладышей ТПД все капилляры направлены точно по радиусу, перпендикулярны контактной поверхности поэтому и используются целенаправленно все самые высокие ее прочностные свойства. Например, у натуральной древесины березы предел прочности при сжатии вдоль волокон  $\sigma_{сж} = 52...57$  МПа в 10 раз больше, чем при сжатии поперек волокон  $\sigma_{сж} = 4...7$  МПа.

**О процессах, происходящих в контактной зоне при трении.** Для обоснования процессов, возникающих в контактной зоне, была построена субмикроскопически-молекулярная модель контактной поверхности между четырьмя полостями соседних капилляров 1–4, заполненных смазкой (рис. 4).

В контактной зоне ПСС ТПД присутствуют все компоненты древесинного вещества, при этом у основного ее компонента – целлюлозы фибриллы и микрофибриллы высокоориентированы и перпендикулярны контактной поверхности (рис. 4).

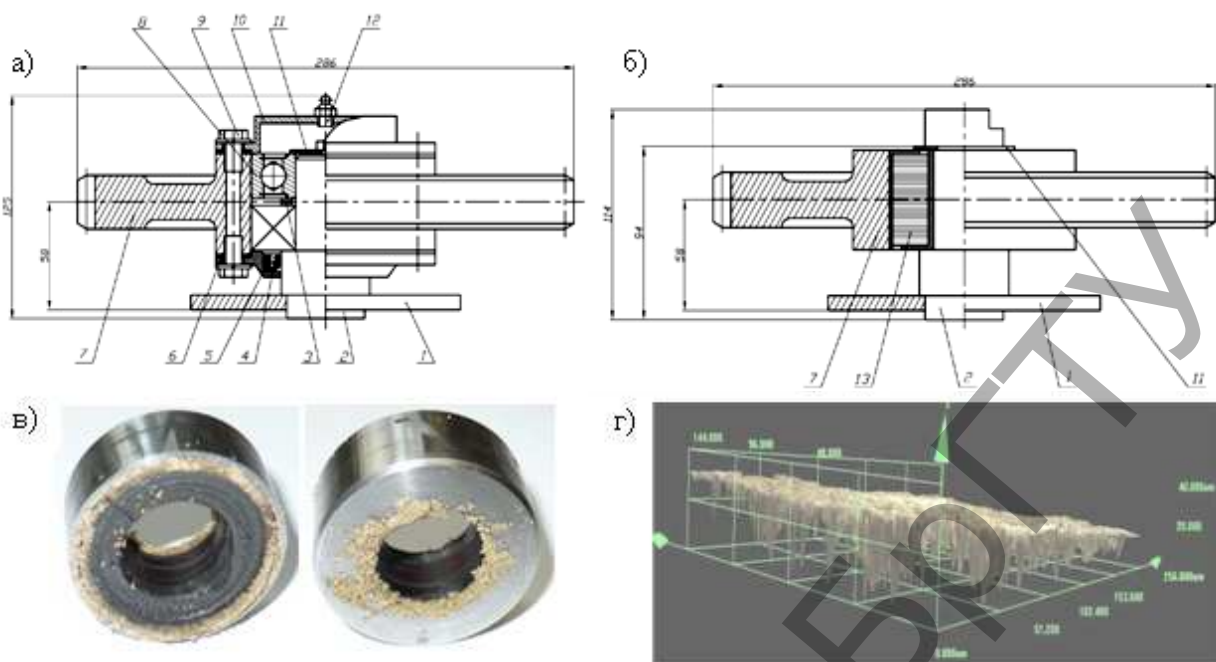
Если принять толщину капилляра 5000 нм, а толщину фибриллы 25 нм, то их количество по радиусу будет 200, а вместе с соседней клеткой – 400. Длина фибрилл 1000–2500 нм. Вторичная и третичная оболочки – это фибриллы вертикально ориентированные и параллельные оси капилляра, а в общем эти оболочки капилляр будут представлять макрофибриллы, которые «выметают» абразив из зоны трения и препятствуют проникновению абразива в контактную зону из окружающей среды. Трение происходит при постоянном присутствии на контактных поверхностях смазки, модифицированной высокомолекулярными присадками (ПЭ, полиизобутилен, пентапаласт и др.) и поступающей из полостей клеток (капилляров) (рис. 4).

**Следовательно, можно предположить, что третичная (III) и вторичная (II) оболочки** стенки капилляра являются цилиндрической макрофибриллой с внутренним диаметром примерно 20 мкм, наружным 21,4...25,8 мкм, которая состоит из множества расположенных по окружности фибрилл длиной 1...5 мкм, шириной 25...30 нм.

Износ вкладышей подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессового деформирования объясняется термическим разрывом внутримолекулярных связей между глюкозными кольцами, энергия разрыва связи  $U_{с-о}$  которых составляет 1076,4 кДж/моль.

Разрыв связей обусловлен теплом, генерируемым в контактной зоне при трении, температура которого превышает  $180-200^\circ\text{C}$ . В требованиях к эксплуатации ПСС оговорено, что  $p_v$  не должно превышать 3,5 МПа·м/с, при котором температура генерируемого тепла не превышает  $100-120^\circ\text{C}$ .

Поэтому при трении разрываются внутримолекулярные связи у гидроксильных OH групп, энергия разрыва которых  $U_{о-н}$  равна 466 кДж/моль. Все химические реакции и превращения, которые могут



1 – плита; 2 – ось; 3 – распорное кольцо; 4 – пружина; 5 – уплотнитель; 6 – нижняя крышка; 7 – звёздочка; 8 – ПК 180308; 9 – болтовое соединение; 10 – верхняя крышка; 11 – стопорное кольцо; 12 – масленка; 13 – двоянный ПСС 180308, заменяющий два ПК 180308

**Рисунок 5** – Узлы трения с подшипниками качения (а) и с взаимозаменяемым подшипником скольжения (б) скребкового транспортера навозоудаления ТСН-160: в – ПСС после испытаний в абразивной среде; г – микроструктура среза, перпендикулярного контактной поверхности ПСС (выполнена на конфокальном лазерном микроскопе Olympus LEXT ols 3000)

быть осуществлены на целлюлозе, гемицеллюлозе, лигнине, ограничиваются превращениями только гидроксильных спиртовых ОН-групп. Водород гидроксильной группы подвижен. Кислород может вытесняться другими атомами, и образуются новые соединения. В контактной зоне, самосмазывающихся подшипников скольжения присутствуют присадки высокомолекулярных соединений к минеральным маслам, такие как полиэтилен  $(-CH_2-CH_2)_n$  ( $n=25000-35000$ ), пентапласт  $(-CH_2C(CH_2Cl)CH_2O)_n$  ( $n=10300$ ), полизобутилен  $[-CH_2-C(CH_3)_2-]$  ( $n=4100$ ),  $L=1,02$  мкм и др. [5].

Одновременно при трении в контактной зоне происходит разрыв химических связей С-С или С-Н у высокомолекулярных присадок, величина энергии разрыва составляет  $U_{с-с}=351$  кДж/моль,  $U_{с-н}=405$  кДж/моль. При разрыве этих связей в контактной зоне будут образовываться новые химические связи компонентов древесины с макромолекулами высокомолекулярных соединений модификаторов смазки, заполняющей полости капиллярно-сосудистой системы, и на контактной торцевой поверхности стенок капилляр будет формироваться устойчивый и прочный граничный смазочный слой. При трении именно в поверхностном слое толщиной 34 мкм, так называемом активном слое, происходят все изменения.

При работе подшипников качения в абразивной среде абразив проникает в пространство между шариками в шарикоподшипниках (между роликами в роликоподшипниках), сепаратором, внутренней поверхностью наружного кольца и наружной поверхности внутреннего кольца, и в процессе его накопления происходит заклинивание подшипника (рис. 5 а, б).

Поэтому в узлах трения с подшипниками качения для предотвращения попадания абразива применяются различные уплотнения (рис. 5, а), а иногда достаточно сложные по конструктивному исполнению. При этом подшипники постоянно смазываются через смазочные устройства. Но даже самые сложные уплотнения не предотвращают проникновение абразива в зону трения ПК.

Достоинством ПСС ТПД является их высокая работоспособность в абразивно-агрессивных средах. При этом никаких уплотнений и смазки не требуется. Отпадает необходимость в установке крышки и др. деталей. Это обусловлено тем, что сами клеточные стенки – это древесные волокна, являющиеся огромными макрофибриллами (рис. 5в), которые, как щетки, предотвращают попадание взвешенно-

го в воздухе абразива в контактную зону. Он налипает на торце ПСС, образуя наросты (рис. 5б), которые по мере накопления осыпаются.

В результате деструкции целлюлозы на микроконтактах образуется абразив, который внедряется в полости мелких капилляр (рис. 5в).

Одновременно все микронеровности контртела (вала) сглаживаются загущенной смазкой, поступающей из полостей капилляр, образуя граничный смазочный слой.

Достоинствами ПСС является также и то, что молекулы целлюлозы не жесткие из-за их внутримолекулярной водородной связи, конформационного состояния: кресло или седло. Это обуславливает их демпфирующие свойства, которые гасят возникающие колебания в узле трения.

**Заключение.** Таким образом, высокая износостойкость ПСС ТПД в абразивно-агрессивных средах обусловлена: высокой ориентацией по радиусу фибрилл, перпендикулярных контактной зоне, которые удаляют продукты износа из зоны трения в полости капилляр, а также предотвращают попадание абразива в зону трения из внешней среды; высокой энергией разрыва внутримолекулярных связей макромолекул целлюлозы в контактной зоне; переносом высокомолекулярных полимерных присадок смазки из полостей капилляров на контртело, которые сглаживают его микронеровности; образованием в процессе трения граничных смазочных слоев на контактных поверхностях вкладыша ТПД и контртела (вала), обеспечивающих работу узла трения на самосмазке в абразивно-агрессивных средах.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крагельский, И.В. Трение, изнашивание и смазка / И.В. Крагельский, В.В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
2. Rain, N. Lignum Vitae: Wood So Bad-Ass, It's Used to Make Shaft Bearings for Nuclear Submarines (and More) // Library Core77. [Electronic resource]. – 2013. – Mode of access: <http://www.core77.com/posts/25224/>. – Date of access: 11.10.2016.
3. Невзорова, А.Б. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика): монография / А.Б. Невзорова, В.Б. Врублевский, В.О. Матусевич, В.И. Врублевская – Гомель: БелГУТ, 2011. – 254 с. – ISBN 978-985-468-654-7.

4. Лесной фонд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html>. – Дата доступа: 25.10.2016.
5. Врублевская, В.И. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них / В.И. Врублевская, А.Б. Невзорова, В.Б. Врублевский – Гомель: БелГУТ, 2000. – 324 с. – ISBN 985-6550-2-9.
6. Врублевский, В.Б. Исследование процесса торцово-прессового деформирования древесины и создание высокопроизводительного оборудования для изготовления из нее подшипников скольжения: автореф. дис. канд. техн. наук. – Минск, 2002. – 20 с.
7. Полуавтомат для торцово-прессового деформирования древесных заготовок: пат. ЕА/0069 (BY), МПК В27М 1/02 / А.Б. Невзорова, Н.В. Врублевский, В.И. Врублевская, Г.А. Гафт, Ю.А. Журавлев – № 022215; заявл. 21.08.2012; опубл. 30.11.2015.
8. Карманов, А.П. Оценка термодинамической гибкости лигнина / А.П. Карманов, В.А. Демин, В.Д. Давыдов [и др.] // Химия древесины. – 1989. – № 3. – С. 28–32.
9. Карманов, А.П. Разветвленность полимерных цепей лигнина / А.П. Карманов, В.А. Демин, В.Д. Давыдов // Химия древесины. – 1990. – № 3. – С. 114–116.
10. Пектиновые вещества [Электронный ресурс] / Энциклопедия Wikipedia/ URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пектины> – Дата доступа: 10.10.2016.
11. Браунинг, Б.Л. Химия древесины / Б.Л. Браунинг [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 415 с.

Материал поступил в редакцию 23.12.2016

#### **KYZNETSOVA V.V., ANIKEYEVA M.V., VRUBLEVSKAYA V.I. Wear resistance self-lubricating plain bearings from natural composite**

Plain bearings from pressed and impregnated with lubricants and high-molecular additives wood better than rolling bearings from bronze, babbitt, iron, polymers and others during the work in identical conditions. During their creation and tests pressed wood is considered as a block material. It's physicomechanical properties are studied. The new class of self-lubricating plain bearings with butt-pressing deformation wood cards to sleeve is created. Capillaries are directed on radius in the sleeve. PB are interchanged with all standard sizes of rolling bearings and work in abrasive-aggressive environments. Serviceability of self-lubricating plain bearings with butt-pressing deformation the sleeve is proved theoretically. The molecular structure of wood substance, orientation it's components in walls of capillar is studied. The submicroscopic model is constructed. All this has allowed to prove high serviceability and wear resistance of PSS TPD in abrasive-aggressive environments.

УДК 628.165

**Бирюк В.В., Благин Е.В., Елисеев Ю.С., Курсанов Ю.Г., Лукачев С.В., Шиманов А.А., Новиков А.В.**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ВАКУМИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОЛОСТИ ИСПАРИТЕЛЯ-КОНДЕНСАТОРА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАКУУМНО-ДИСТИЛЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ**

**Введение.** Одной из основных проблем человечества становится проблема получения пригодной для питья пресной воды. Растущий мировой дефицит пресной воды может быть скомпенсирован опреснением солёных (солесодержание более 10 г/л) и солоноватых (2–10 г/л) океанических, морских и подземных вод, запасы которых составляют 98% всей воды на земном шаре.

Возможные пути воспроизводства пресной воды на планете, такие как переброска каналами многоводных рек и транспортировка айсбергов, весьма ограничены. В то время как по всей ее территории имеются минерализованные, сбросные и морские воды, опреснение которых при создании высокоэффективных технологий опреснения могут устранить существующую проблему дефицита воды.

Решение проблемы водоснабжения за счет опресненных морских и соленых вод возможно при условии изыскания и создания экономичных технологических схем, способных получать воду по стоимости сопоставимой с природной и высокого питьевого качества [1].

В связи с этим остро встает вопрос о выборе оптимальных схем опреснения и их оптимизации. Однако оптимизация опреснительных установок невозможна без предварительного анализа влияния внешних факторов на работу и эффективность установок.

В качестве исследуемого фактора, влияющего на работу установки, была выбрана степень вакуумирования внутренних полостей, а в качестве исследуемой установки была выбрана установка, совместно разрабатываемая Самарским национальным исследовательским университетом им. академика С.П. Королева и АО «Металлист-Самара».

**Описание установки.** Предварительно подготовленная вода из водозаборного устройства (прошедшая предварительную очистку) с помощью насоса по двум трубопроводам с заданным соотношением расходов подаётся к подогревающим теплообменникам. Трубопровод первого потока проходит через теплообменник с дистиллятом, а второй – через теплообменник с рассолом. Пройдя через подогревающие теплообменники, два потока исходной воды нагреваются и вновь объединяются в один общий поток, который поступает в каждую ступень установки в определенных пропорциях.

Циркуляцию рассола в каждой из ступеней осуществляют циркуляционные насосы, обеспечивая подачу воды в межтрубное пространство теплообменника таким образом, что она стекает по наружным поверхностям трубок в виде тонкой плёнки.

**Бирюк Владимир Васильевич**, д.т.н., профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

**Благин Евгений Валерьевич**, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

**Лукачев Сергей Викторович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

**Новиков Артем Витальевич**, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

**Шиманов Артем Андреевич**, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, корп. 15.

**Елисеев Юрий Сергеевич**, д.т.н., профессор, исполнительный директор АО «Металлист-Самара».

**Курсанов Юрий Георгиевич**, заместитель главного конструктора АО «Металлист-Самара».

Россия, г. Самара, улица Промышленности, 278.