

УДК 621.002:674.812

**А.А. Аксенов**

Аксенов Алексей Александрович родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии конструкционных материалов ВГЛТА. Имеет более 30 печатных работ в области исследования механических и триботехнических свойств прессованной древесины для узлов трения с подшипниками из прессованной древесины.  
E-mail: aaa-aksenov@mail.ru; moc@vglta.vrn.ru



## **ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ТВЕРДОСТЬ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Определены зависимости твердости прессованной древесины от температуры с учетом ее анизотропии, позволяющие скорректировать расчеты надежности подшипников из прессованной древесины при отрицательных температурах.

*Ключевые слова:* прессованная древесина, твердость, отрицательная температура, надежность.

В настоящее время в условиях отрицательных температур широко используются различные машины и механизмы, повышение работоспособности и надежности которых является актуальной задачей. Применяемые в них узлы трения, изготавливаемые преимущественно из металлов и сплавов, при отрицательных температурах имеют ряд существенных недостатков.

Основной недостаток металлических пар трения скольжения и качения – схватывание контактирующих поверхностей при отрицательных температурах (их примерзание и адгезия), которое в начале работы механизма вызывает значительный износ пары трения, а иногда и заклинивание подшипника, что приводит к выходу из строя всего агрегата.

Применение в узлах трения подшипников из прессованной древесины (ДП) может решить данную проблему. Подшипники из ДП имеют ряд преимуществ перед подшипниками из других антифрикционных материалов: низкую себестоимость, незначительных износ сопряженного материала, хорошую деформативность при достаточной твердости и упругости, способность поглощения абразивных частиц, низкую металлоемкость, способность наполняться и пропитываться смазочными материалами (работают на самосмазке).

В прошлом веке были сделаны некоторые попытки внедрения узлов трения с подшипниками из ДП, для чего исследовались ее свойства и различные характеристики [2, 5]. Однако эксперименты проводились только при температурах 20...100 °С. Поэтому изучение ДП как антифрикционного материала при действии отрицательных температур будет способствовать внедрению ее в механизмы и оборудование, работающие в условиях Севера и Крайнего Севера.

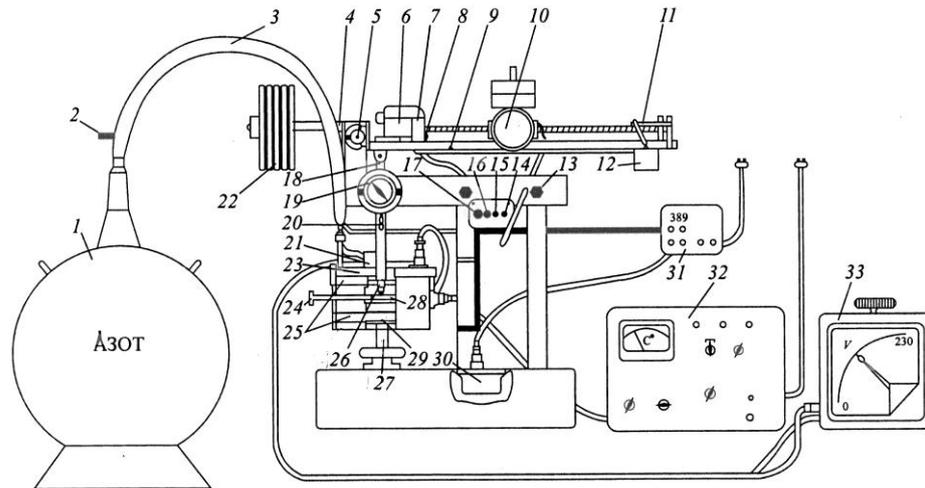


Рис. 1. Схема приборной установки для определения твердости в зависимости от температуры: 1 – сосуд Дьюара; 2 – предохранительный клапан; 3 – изолированная трубка; 4 – двуплечий рычаг; 5 – опора; 6 – реверсивный двигатель; 7 – фрикционная передача; 8 – конечный выключатель; 9 – винт; 10 – груз; 11 – рычаг; 12 – переключатель; 13 – станина; 14 – кнопка выключения; 15 – кнопка включения; 16, 17 – сигнальные лампочки управления; 18 – шток; 19 – индикатор; 20 – упор индикатора; 21 – магнитный клапан; 22 – противовес; 23 – крышка; 24 – винт перемещения образца; 25 – термокриокамера; 26 – шарик; 27 – винтовой подъемник; 28 – образец; 29 – подставка; 30 – реле времени; 31 – источник питания; 32 – электронный регулятор установки тепла-холода; 33 – регулятор напряжения

В ходе ранее проведенных исследований [2] показано, что при повышении температуры от 20 до 100 °С твердость ДП уменьшается. Логично предположить, что при уменьшении температуры от +20 до –100 °С твердость ДП будет увеличиваться. Следовательно расчет на надежность подшипников, работающих при отрицательных температурах, необходимо вести с учетом изменения твердости.

Для исследований зависимости твердости от температуры нами была создана экспериментальная установка (рис. 1), основой для которой послужила установка по ГОСТ 13338–86 [3]. Установка состоит из следующих основных элементов: рычажная система нагружения с индикатором для замера глубины погружения шарика в древесину; автоматическое устройство для управления режимом нагружения шарика; термокриокамера с автоматическим устройством тепла-холода; подъемник камеры с винтом перемещения образца в направляющих [4].

Рычажная система нагружения выполнена в виде двуплечего рычага 4, шарнирно закрепленного на опоре 5. Сверху, в начале длинного плеча двуплечего рычага, установлен реверсивный двигатель 6 с фрикционной

передачей 7 и прикрепленным к нему конечным выключателем 8, кинематически связанным с двигателем винтом 9, с помощью которого перемещается груз 10. На конце длинного плеча двуплечего рычага установлен рычаг 11 переключателя 12. На конце короткого плеча двуплечего рычага укреплен уравнивающий систему противовес 22. Снизу, на длинном плече двуплечего рычага, шарнирно закреплен шток 18 крепления шарика.

На пульте управления, прикрепленном к станине 13, располагаются кнопки включения 14 и выключения 15 прибора и сигнальные лампочки управления 16 и 17. К станине крепится индикатор 19 для замера глубины отпечатков. Индикатор взаимодействует со штоком 18 через упор 20, прикрепленный к штоку. Азот из сосуда Дьюара 1 по изолированной трубке 3 через предохранительный клапан 2 и магнитный клапан 21, прикрепленный к крышке 23, подается в термокриокамеру 25. Через изоляционную стенку термокриокамеры проходит винт 24, перемещающий образец в камере по отношению к шарика 26. Образец 28 при испытании перемещается винтом в направляющих так, что отпечатки шарика располагаются в ряд на расстоянии 5 мм. Термокриокамера установлена на подставку 29 винтового подъемника 27. В нижнем коробе станины расположено реле времени 30, которое с помощью разъема и кабеля присоединяется к источнику питания 31. Термокриокамера разъемом и кабелем соединяется с передвижным электронным регулятором 32 установки тепла-холода. Для электропитания переменного напряжения нагревателей, входящих в установку тепла-холода, служит регулятор напряжения 33.

Для определения твердости образец устанавливается на дно термокриокамеры установки тепла-холода. После достижения в термокриокамере заданной температуры создается предварительная нагрузка на шарик, равная 10 Н. Затем шкала индикатора устанавливается на ноль, после чего нагрузка на шарик плавно увеличивается до 250 Н в течение 30 с и выдерживается в течение 30 с. После этого замеряется глубина погружения (отпечатка) шарика в образец под нагрузкой, и нагрузка в течение 30 с плавно снимается. После снятия нагрузки делается выдержка до полной остановки стрелки индикатора (30 с), пока не произойдет восстановление упругих деформаций, и замеряется глубина отпечатка после снятия нагрузки. Погрешность измерения глубины отпечатка не более 0,002 мм. Измерения производятся по 14 раз при температурах +20, 0, -20, -50 и -100 °С. Ввиду анизотропии древесины образцы испытаны при различных направлениях действия нагрузки относительно волокон: радиальном, тангенциальном и торцевом.

Твердость (Н/м<sup>2</sup> (Па)) вычисляют с погрешностью не более 1 кПа по формуле

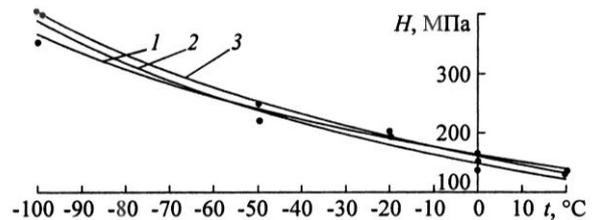
$$H = \frac{P}{2\pi Rh},$$

где  $P$  – нагрузка, прилагаемая к шарика, Н;

$R$  – радиус шарика, м;

$h$  – глубина отпечатка шарика, измеренная после снятия нагрузки, м.

Рис. 2. Изменение твердости ДП в зависимости от температуры  $t$  и направления действия нагрузки относительно волокон: 1 – радиальное; 2 – тангенциальное; 3 – торцевое



### Результаты исследования твердости ДП для трех направлений действия нагрузки при понижении температуры

| Направление действия нагрузки | Температура, °С | Среднее значение твердости, МПа | Точность определения, % |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|
| Радиальное                    | +20             | 124,71                          | 2,88                    |
|                               | 0               | 159,71                          | 2,89                    |
|                               | -20             | 197,57                          | 1,85                    |
|                               | -50             | 245,64                          | 1,33                    |
|                               | -100            | 349,29                          | 2,27                    |
| Тангенциальное                | +20             | 128,07                          | 2,78                    |
|                               | 0               | 134,43                          | 2,02                    |
|                               | -20             | 190,14                          | 1,01                    |
|                               | -50             | 221,29                          | 2,13                    |
|                               | -100            | 400,43                          | 1,59                    |
| Торцевое                      | +20             | 133,57                          | 3,88                    |
|                               | 0               | 152,14                          | 2,23                    |
|                               | -20             | 198,14                          | 2,49                    |
|                               | -50             | 247,43                          | 2,57                    |
|                               | -100            | 404,50                          | 1,15                    |

Обработанные результаты испытаний твердости ДП в зависимости от температуры с учетом анизотропии древесины представлены в таблице и на рис. 2.

Из анализа графиков, приведенных на рис. 2, можно сделать следующие выводы [1].

1. Анизотропия древесины оказывает незначительное влияние на твердость. Так, при снижении температуры от +20 до -100 °С и действии нагрузки в радиальном направлении к волокнам твердость ДП повышается от 125 до 349 МПа, в тангенциальном – от 128 до 400 МПа, в торцевом (торцевая твердость) – от 133 до 405 МПа.

2. Оптимальной поверхностью трения является торцевая, которая имеет наибольшую твердость и обеспечивает минимальное значение коэффициента трения за счет выхода на поверхность молекул смазочного вещества.

3. Наиболее интенсивное повышение твердости происходит при снижении температуры от -50 до -100 °С. Например, торцевая твердость в этом интервале повышается на 31 МПа при изменении температуры на каждые 10 °С. Это объясняется тем, что при низких температурах в древесине образуется кристаллическая взаимосвязанная решетка замороженных частиц связанной влаги древесных волокон.

Изменение твердости ( $H$ , МПа) ДП в интервале температур от +20 до –100 °С при действии нагрузки в радиальном, тангенциальном и торцевом направлениях к волокнам может быть описано следующими аналитическими зависимостями:

$$H = 157,28e^{-0,0084} ;$$

$$H = 146,61e^{-0,0097} ;$$

$$H = 158,34e^{-0,0093} .$$

Проведенные исследования дают достаточно точное представление об изменении твердости ДП при отрицательных температурах. При изменении температуры от +20 до –60 °С твердость увеличивается в несколько раз. Это обстоятельство позволяет применять подшипники из ДП в узлах трения, испытывающих значительно большие нагрузки, чем при обычных температурах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А.А. Повышение надежности подшипников лесных машин, работающих при отрицательных температурах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук /ВГЛТА. – Воронеж, 2003. – 18 с.
2. Винник Н.И. Модифицированная древесина. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 158 с.
3. ГОСТ 13338–86. Древесина модифицированная. Метод определения твердости, временных упругих и временных остаточных деформаций. – Введ. 03.01.1986. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
4. Свиридов Л.Т., Аксенов А.А. Установка для определения основных показателей модифицированной древесины для отрицательных температур // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Химико-лесной комплекс – проблемы и решения», 11–12 апреля 2002 г. – Красноярск, 2002. – С. 336–340.
5. Черных И.Т., Винник Н.И., Аксенов А.А. Применение древесины модифицированной в узлах канатно-блочных систем подъемно-транспортных машин // Интеграция фундаментальной науки и высшего лесотехнического образования по проблемам воспроизводства, использования и модификации древесины: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. 13 – 16 июня 2000 г. – Т. 2. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – С. 241–246.

*A.A. Aksenov*

#### **Effect of Negative Temperatures on Compressed Wood Hardness**

The dependences of the compressed wood hardness on temperature are determined taking into account its anisotropy allowing to correct the reliability of bearings made of compressed wood at negative temperatures.

Keywords: compressed wood, hardness, negative temperature, reliability.

---