

А. Ф. Дулевич, канд. техн. наук, доцент; С. В. Киселев, аспирант

УСТАНОВКА ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

Necessity of developing an experimental equipment for band saw testing is proven in the article. It gives the overview of existing test benches for fatigue bending test of flat models. Their design and principle of operation are given. Their main disadvantages preventing their use for correct modeling of saw operating condition are specified. The scheme for loading of new experimental equipment, which takes into account basic loads (tension and cyclical bending), is given. Its design and structure of basic units are considered as well as its principle of operation.

1. Необходимость исследований. Одной из основных проблем при эксплуатации ленточных пил в деревообрабатывающей промышленности является недостаточная точность распиловки при больших скоростях подачи и низкая долговечность полотна пилы. Основными причинами потери работоспособности ленточных пил является затупление режущих кромок зубьев и аварийный разрыв полотна пилы. Практика показывает, что в некоторых случаях разрыв полотен происходит уже после 3–4 ч работы, что крайне негативно сказывается как на производительности оборудования, так и на безопасности труда. Поэтому существует необходимость разработки методов и рекомендаций по повышению долговечности полотна пилы, что связано с проведением большого объема экспериментальных исследований. Проведение таких исследований непосредственно на ленточнопильном оборудовании требует больших затрат энергии, рабочего времени и распиливаемого сырья.

Стал актуальным вопрос о необходимости создания экспериментальной установки, максимально воспроизводящей условия работы ленточной пилы на станке. Для создания принципиальной схемы установки, с помощью которой можно было бы провести корректное моделирование условий эксплуатации необходимо определить основные напряжения, возникающие в полотне пилы, и их характер.

Анализ работы ленточных пил показал, что основными напряжениями, вызывающими усталостное разрушение полотна ленточной пилы, являются [1, 2]: напряжение от предварительного натяжения пильного полотна $\sigma_{нат} = 50\text{--}100 \text{ Н/мм}^2$ и напряжение от изгиба полотна на шкивах, значение которого может изменяться в пределах $\sigma_{изг} = 180\text{--}600 \text{ МПа}$. В сумме данные напряжения составляют 75–85% от общих напряжений, возникающих в полотне пилы. Следует отметить, что напряжения растяжения можно принять постоянными, а напряжения изгиба – циклическими, с частотой равной частоте пробега пилы по шкивам и равной $\nu = 6\text{--}40 \text{ Гц}$ в зависимости от конструктивных особенностей станка.

Из анализа условий работы ленточной пилы следует, что для их моделирования необходимо

воспроизведение как минимум двух основных нагрузок: растяжение и изгиб. Причем изгиб характеризуется следующими свойствами: постоянный радиус кривизны, постоянное значение изгибающего момента в сечении полотна пилы на длине участка, лежащем на шкиве. Изгиб происходит только с одной стороны, т. е. можно говорить об отнулевом цикле нагружения. Растяжение может быть как осевым, так и внецентренным, в случае учета при моделировании наклона ведомого шкива станка.

2. Обзор существующих установок. Существуют различные конструкции установок для усталостных испытаний листовых материалов [3]. Данные установки различаются по способу возбуждения колебаний и могут быть магнитострикционные, электродинамические, акустические, механические и пр.

На рис. 1 представлена схема электродинамической установки для усталостных испытаний плоских образцов.

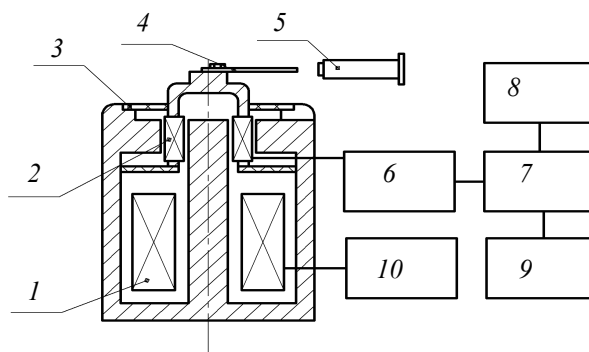


Рис. 1. Блок-схема электродинамической установки для усталостных испытаний при консольном изгибе образца:

- 1 – обмотка постоянного тока; 2 – обмотка возбуждения; 3 – мембраны; 4 – образец; 5 – микроскоп; 6 – усилитель; 7 – генератор; 8 – счетчик импульсов; 9 – частотомер; 10 – выпрямитель

Возбудителем колебаний является электродинамический вибратор. Электромагнит, состоящий из обмотки постоянного тока 1 и корпуса-магнитопровода создает сильное постоянное магнитное поле в воздушном зазоре в котором располагается обмотка возбуждения 2, питаемая переменным током, и образует с плат-

формой подвижное звено, передающее колебания испытываемому объекту 4. Катушка крепится к корпусу-магнитопроводу через мембраны 3, они обеспечивают свободный ход катушки в осевом направлении, имеют в этом направлении очень малую жесткость и практически исключают движение катушки в поперечном направлении. Амплитуда колебаний свободного конца образца измеряется микроскопом 5. Ток подмагничивания к вибростенду поступает от выпрямителя 10. Задающий генератор 7 подает сигнал нужной частоты на мощный усилитель 6, от которого питается катушка возбуждения электродинамического вибратора. Частота возбуждения контролируется частотомером 8, а число циклов до разрушения образца определяется счетчиком циклов 9. Основным условием работы данной установки является резонансный режим, т. е. совпадение частоты возбуждения и собственной частоты колебания образца.

На рис. 2 представлена схема установки, спроектированная в Архангельском ЛТИ для сравнительного испытания ленточных пил [4].

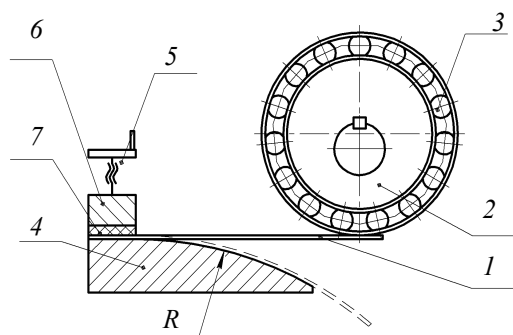


Рис. 2. Схема установки для сравнительных усталостных испытаний образцов из ленточных пил: 1 – образец; 2 – эксцентрик; 3 – шариковый подшипник; 4 – шаблон-копир; 5 – винтовой зажим; 6 – прижимная линейка; 7 – резиновая прокладка

При испытаниях исследуемые образцы 1 устанавливаются рабочей частью на шаблон-копир 4 и фиксируются прижимной планкой 6 через резиновую прокладку 7. Нагружение (изгиб) образцов происходит при вращении вала с эксцентриками 2 от электродвигателя, при этом рабочая часть образцов копирует форму поверхности шаблона-копира.

Основными недостатками данных установок является то, что они не воспроизводят растягивающей нагрузки.

На рис. 3 представлена схема установки для испытаний плоских образцов при совместном действии циклического изгиба и статического растяжения.

Образец 1 через тягу 2 нагружается статической растягивающей силой, которая создается грузом 4 через систему рычагов. Образец и

тяга образуют систему, в которой электромагнитом 3 возбуждаются поперечные резонансные колебания. Обмотка электромагнита питается переменным током от усилителя 5. Частота нагружения образца определяется жесткостью тяги и образца и подбирается с помощью задающего генератора 6.

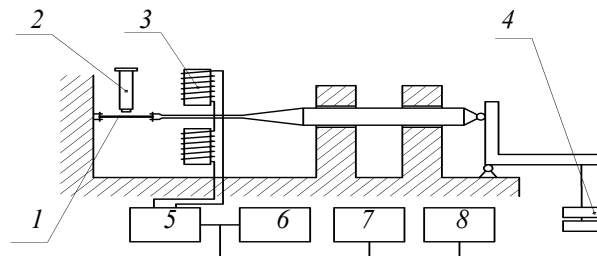


Рис. 3. Блок-схема установки для испытаний листовых материалов при циклическом изгибе с наложением статической растягивающей нагрузки: 1 – образец; 2 – микроскоп; 3 – обмотки возбуждения; 4 – грузы; 5 – усилитель; 6 – генератор; 7 – счетчик импульсов; 8 – частотомер

В зависимости от размеров образца и толщины тяги частота нагружения находится в пределах 50–500 Гц. Резонансная частота измеряется частотомером 7, а по счетчику импульсов 8 определяется число циклов нагружения.

Основным недостатком данной установки, не позволяющей использовать ее для моделирования условий работы пилы на станке является то, что образец испытывает симметричный цикл изгиба, в то время как пила изгибается на шкивах по отнулевому.

Следует также отметить, что во всех данных установках образец закрепляется консольно, что качественно не соответствует условиям изгиба полотна на шкиве.

Так как ни один из существующих стендов по усталостным испытаниям плоских образцов не позволяет адекватно воспроизвести нагрузки, действующие на полотно ленточной пилы, то существует необходимость проектирования и создания новой экспериментальной установки.

3. Модель нагружения на установке. При разработке схемы нагружения проектируемой установки учитывались недостатки существующих. Была принята схема, при которой образец шарнирно закрепляется на двух опорах (рис. 4), на него действует растягивающее усилие F_0 и изгибающее усилие F , которое прикладывается посередине длины образца.

Данная схема предусматривает возможность осевого либо внецентренного растяжения образца. Необходимость использования внецентренного растяжения может возникнуть в случае дополнительного учета наклона ведомого шкива.

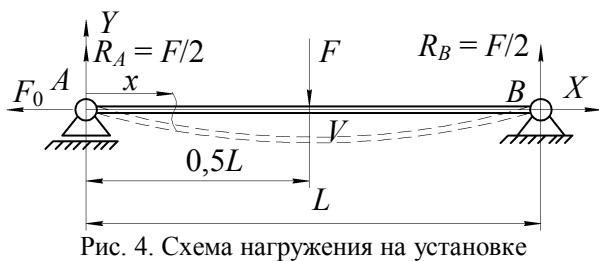


Рис. 4. Схема нагружения на установке

Для данной схемы нагружения было составлено и решено дифференциальное уравнение гибкой линии, позволяющее определять величину необходимой изгибающей силы и прогиба в точке приложения силы для заданного уровня изгибных и растягивающих напряжений, возникающих в образце.

Для расчетов элементов конструкции и для определения потребляемой мощности значение боковой изгибающей силы F определялось по формуле [2], Н:

$$F = \frac{2\sqrt{F_0 E J_Z}}{\rho k \tanh\left(\frac{l\sqrt{F_0}}{2\sqrt{E J_Z}}\right)}, \quad (1)$$

где F_0 – сила растягивающая образец, Н; E – модуль упругости материала, МПа; $J_Z = bs^3/12$ – момент инерции сечения пилы при продольном изгибе, мм⁴; l – расстояние между опорами, мм; b – ширина полотна, мм; ρ – моделируемый радиус кривизны, мм; s – толщина полотна, мм;

4. Описание установки. Общий вид установки для усталостных испытаний образцов ленточных пил представлен на рис. 5. Установка состоит из станины, представляющей собой две жесткие плиты – верхней 1 и нижней 2, соединенных между собой стойками 3. На нижней плите закреплен узел возбуждения боковой изгибающей силы. Данный узел представляет собой две стойки, в которых на подшипниках качения установлен вал, на нем закреплены приводной шкив (на рисунке не показан) и силовой кулачок. Кулачок обкатывается подшипником каретки, которая движется возвратно-поступательно по направляющим, выполненным в боковых стойках, и через подвижный шток и толкатель передает изгибающее усилие на образец.

На верхней плите расположен узел растяжения образца, представляющий собой две опоры 9, каждая из которых представляет собой две призмы с пазами. В пазы вставляются оси с вращающимися втулками, служащие опорами качения для перемещающегося по ним стержня, который жестко закреплен с одной стороны с захватным устройством 11, а с другой стороны соединен со стержневым элементом натяжения 12, передающим растягивающее усилие от цилиндрических пружин сжатия на образец. Пружины предварительно тарируются,

т.е. определяется зависимость деформации от сжимающей нагрузки. Захватное устройство выполнено в виде клинового захвата, в который вставляется образец и дополнительно закрепляется штифтом, а само устройство может свободно поворачиваться вокруг оси, лежащей в плоскости, находящейся на середине толщины образца, тем самым выполняется условие растяжения образца вдоль геометрической оси.

Установка и регулировка контакта толкателя 13 и образца выполняется с помощью регулировочных гаек на стойках 3.

Установка работает следующим образом. Образец 16 устанавливается в зажимные приспособления 11. Сжатием пружины гайками на стержневых элементах 12 создается необходимая осевая растягивающая нагрузка, величина которой контролируется с помощью величины деформации пружины. Значение растягивающей силы определяется в зависимости от необходимого уровня напряжения и площади поперечного сечения рабочей части образца.

Крутящий момент от двигателя через ременную передачу приводит во вращение вал 5 и находящийся на нем силовой кулачок 4. При вращении кулачка каретка совершает возвратно-поступательные движения, передавая изгибающее усилие на образец через толкатель 7. Изгиб испытываемого изделия 9 вызывает уменьшение расстояния между зажимными приспособлениями 11, причем чем больше изгиб (прогиб) тем на большую величину изменяется расстояние между ними. Для компенсации изменения осевой силы предусмотрен компенсатор, выполненный совместно с узлом создания осевой растягивающей силы и представляющий собой цилиндрическую пружину с заданными геометрическими характеристиками.

Жесткость данных пружин выбирается в зависимости от необходимой величины растягивающей силы. Величина пульсаций растягивающей силы не превышает 5% от номинальной величины

При воздействии изгибающей силы образец 9 начинает поворачиваться в шарнирах захватного приспособления 11.

Для предотвращения вращения штока вокруг своей оси на верхней плите установлены направляющие 18.

Для автоматической остановки установки после разрушения образца на одной из опор установлен конечный выключатель 20. При разрушении образца захватное устройство 11 прижимается к опоре 9 за счет растягивающей силы пружины. Пластина, закрепленная на захватном устройстве, давит на конечный выключатель и размыкает цепь питания электродвигателя.

Частота нагружения образца плавно регулируется за счет изменения частоты вращения вала кулачка и может варьироваться в диапазоне 2–75 Гц.

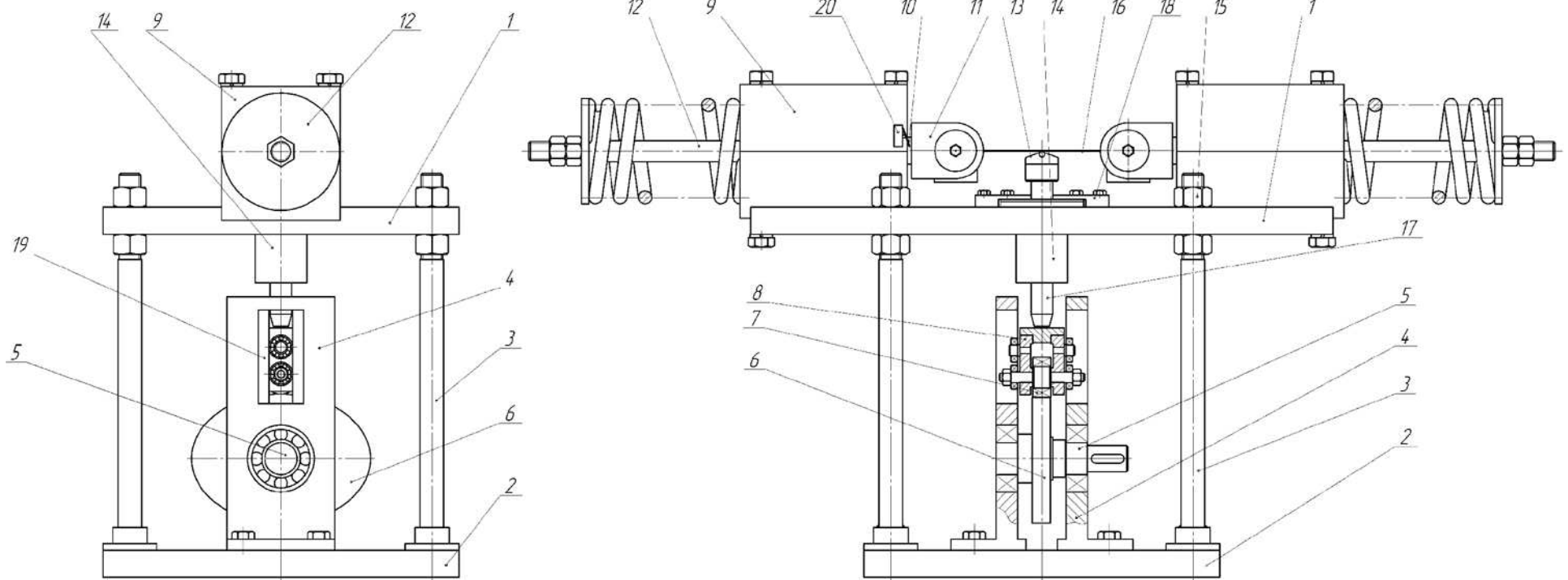


Рис. 5. Схема установки для ускоренных испытаний ленточных пил

Число циклов нагружения пересчитывается исходя из времени работы установки и частоты вращения вала 5.

Стенд позволяет осуществлять основные виды нагружения, обеспечивающие максимальное приближение к эксплуатационным режимам ленточных пил: нагружение статической осевой силой натяжения, изгибающим моментом при чистом изгибе.

5. Образцы. Образец для данной установки представляет собой отрезок испытываемой ленточной пилы либо стандартный образец для усталостных испытаний – тип IV по ГОСТ 25.502–79. Основные размеры образцов представлены на рис. 4.

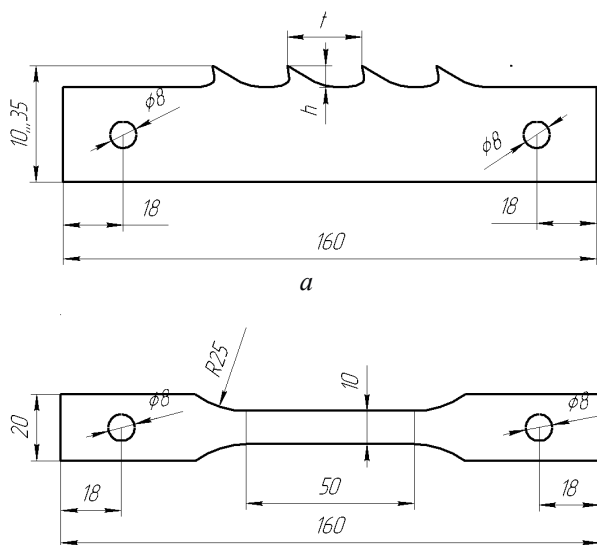


Рис. 4. Образцы:

- a* – натуральный образец ленточной пилы;
б – стандартный образец (тип IV)

Длина образца выбиралась таким образом, чтобы обеспечить минимальные габариты экспериментальной установки, рациональные значения прогиба образца и величины боковой изгибающей силы, а значит, и минимальной потребляемой мощности, а также из соображений

наличия на рабочем участке как минимум трех впадин зубьев.

Для данной установки приняты образцы длиной 160₋₁₀ мм. В зоне захватов зубья срезаются по линии впадин.

Данная установка позволяет испытывать пилы шириной 10–45 мм, толщиной 0,3–2,0 мм.

Для предварительного захвата в образцах выполняются отверстия для штифтов захватов посередине либо со смещением в случае необходимости внецентренного растяжения.

Выводы. Спроектированная установка дает возможность воспроизводить основные нагрузки, действующие на полотно ленточной пилы – статическое растяжение и циклический изгиб, что позволяет проводить экспериментальные исследования по изучению долговечности пилы в лабораторных условиях.

Конструкция установки позволяет провести ее модернизацию и дополнительно нагружать образец силами резания с учетом цикла работы пилы на станке.

Литература

1. Феоктистов, А. Е. Подготовка ленточных пил к работе / А. Е. Феоктистов. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 72 с.
2. Дулевич, А. Ф. Исследование причин возникновения усталостных трещин в полотнах ленточных пил / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 251–253.
3. Усталостные испытания при высоких частотах нагружения / В. А. Кузьменко [и др.]; под общ. ред. В. А. Кузьменко. – Киев: Наук. думка, 1979. – 336 с.
4. Настенко, А. А. Экспериментальное исследование усталости ленточных пил из различных сталей / А. А. Настенко // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. Архангельского гос. технол. ун-та, посвященного 70-летию АГТУ. – Архангельск, 1999 г. – С. 82–89.