

МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

The problem of investigation the causes of appearance the fatigues cracks in the band saw blade which are the main reason of the saw failure as will as its origin. The brief description of test bench is given and conclusion of the creation necessity the new design of the test stand for the modeling of the band saw blade works.

Введение. В настоящее время распиловка древесины на ленточнопильных станках на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь получила широкое распространение. Это стало возможным за счет следующих ее достоинств: относительно небольшая ширина пропила (в 2–3 раза меньше по сравнению с рамными и круглыми пилами) и соответственно меньший расход древесины в стружку и меньшие затраты на электроэнергию; возможность проведения индивидуальной открытой распиловки, что позволяет получать пиломатериалы с требуемым направлением годовичных слоев, а также повысить сортность получаемых пиломатериалов, особенно для бревен, имеющих внутренние пороки (центральную гниль, полости и др.); распиловка крупногабаритных (по диаметру) бревен; высокое качество обработанной поверхности уменьшает припуск на дальнейшую обработку и в конечном счете ведет к уменьшению потерь древесины; относительно небольшая цена основного и вспомогательного оборудования, что в современных условиях нехватки денежных средств на деревообрабатывающих предприятиях может иногда являться основной причиной выбора данного типа станков.

Однако существуют определенные проблемы при эксплуатации ленточных пил. В частности, 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. Согласно ГОСТ 6532–77, испытаниями оговаривается только стойкость зубьев пилы, но 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, мак-

симально воспроизводящей условия работы ленточной пилы на станке. Для создания принципиальной схемы установки, с помощью которой можно было бы провести корректное моделирование условий эксплуатации, необходимо провести исследование напряженного состояния пилы и выявить причины возникновения усталостных трещин, которые являются основным фактором выхода пил из строя.

1. Анализ напряженного состояния полотна ленточной пилы. Анализ работы ленточных пил показал, что в полотне пилы возникают следующие напряжения [1, 2]: $\sigma_{нат}$ — напряжение от предварительного натяжения пильного полотна. В зависимости от ширины и толщины ленты, а также качества ее изготовления величина напряжений может изменяться в пределах 50–100 Н/мм², оно распределено неравномерно по ширине, и его величина больше у зубчатой кромки в области впадин зубьев; $\sigma_{изг}$ — напряжение от изгиба полотна на шкивах, в зависимости от диаметра шкива и толщины пилы его значение может изменяться в пределах $\sigma_{изг} = 180\text{--}300$ МПа; $\sigma_{ц.с.}$ — напряжение от центробежных сил, его значение может быть в пределах 9–20 МПа в зависимости от скорости движения полотна; $\sigma_{рез}$ — напряжения от сил резания, концентрируются у зубчатой кромки и могут достигать значительных величин. Однако среднее значение по всей ширине полотна обычно не превышает 10–15 МПа; $\sigma_{вал}$ — напряжения от вальцевания. Это внутренние напряжения в полотне пилы, созданные в процессе ее подготовки к работе, их величина составляет 15–20 МПа; σ_t — напряжения от температурного перепада, значение данных напряжений составляет 18–48 МПа и может достигать 150 МПа при резком ухудшении условий пиления (изворот пилы, потеря устойчивости и пр.) и критическом затуплении зубьев; $\sigma_{ш}$ — напряжения от выпуклости профиля шкива или его наклона, численно примерно равны напряжениям от вальцевания; $\sigma_{пр}$ — прочие напряжения (от радиального биения шкивов, от погрешностей отклонения осей шкивов, от поперечных и продольных колебаний полотна, от контакта с направляющими и от инерции шкивов).

На долговечность пилы кроме величины напряжения влияет его характер. В частности, напряжения от изгиба на шкивах носят цикли-

ческий характер. В среднем ленточнопильные станки для распиловки бревен имеют диаметр шкивов D от 300 до 1500 мм, расстояние между шкивами a – 1600–3000 мм и скорость ленты $V = 40$ –55 м/с. Время пробега ленты полного цикла t можно определить по формуле

$$t = \frac{\pi D + 2a}{V} \quad (1)$$

Следовательно, среднее время пробега составляет 0,11–0,36 с. С учетом того, что за один цикл пила испытывает два раза напряжения изгиба, можно сказать, что полотно пилы испытывает циклические напряжения изгиба с частотой $\nu = 2 \cdot t^{-1}$, т. е. $\nu = 6$ –18 Гц.

Как показывает анализ напряжений, основной фактор разрушения – зарождение и развитие усталостных трещин во впадинах зубьев, появление которых является причиной наличия значительных циклических напряжений изгиба совместно с напряжениями растяжения в полотне пилы.

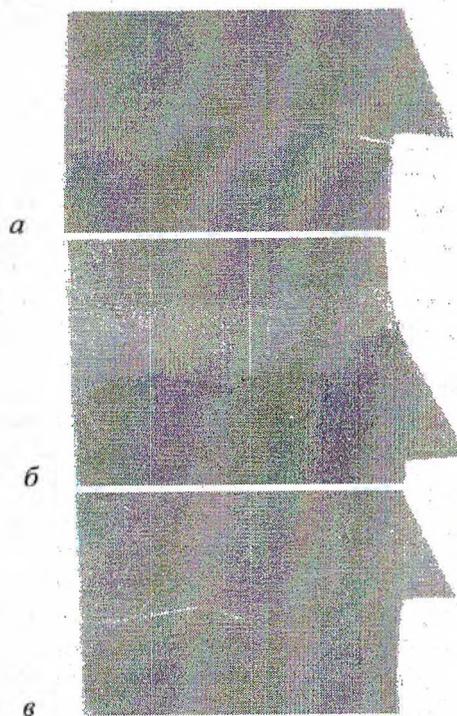


Рис. 1. Основные виды усталостных трещин в полотнах ленточных пил:
а – во впадине зуба; б – по сварному шву;
в – на тыльной стороне полотна

Для практического подтверждения нами в течение полугода были исследованы причины выхода из строя ленточных пил от различных поставщиков в условиях ЗАО «Молодечномебель». Наблюдения показали, что выход пил из строя по причине усталостных трещин в межзубовых впадинах составляет 76–78%, в зоне сварного шва – 9–12%, на тыльной кромке полотна – 3–6%, по причине обрыва зубьев – 4–6%.

На рис. 1 представлены образцы ленточных пил с характерными усталостными трещинами.

Для прогнозирования разрушения и для создания методов повышения долговечности пилы необходимо знать не только причины появления усталостных трещин, но и механизм их развития.

2. Механизм зарождения и распространения усталостной трещины. Для описания развития усталостной трещины была принята структурно-энергетическая теория усталости и подход к оценке циклической прочности на основе рассмотрения разрушения как дискретного процесса [3]. Согласно данной теории, при анализе процессов усталости необходимо различать следующие три периода усталости: инкубационный период (I), период развития субмикроскопических трещин усталости до размеров микротрещин (II) и период развития микротрещин до размеров макротрещин (III). Все эти периоды усталости разграничиваются на диаграмме усталости тремя линиями, как показано на рис. 2. Здесь линия ABC – линия разрушения (кривая Велера), линия $A'B'C'$ – линия начала образования субмикроскопических трещин и линия $A'C$ – линия начала образования микротрещин.

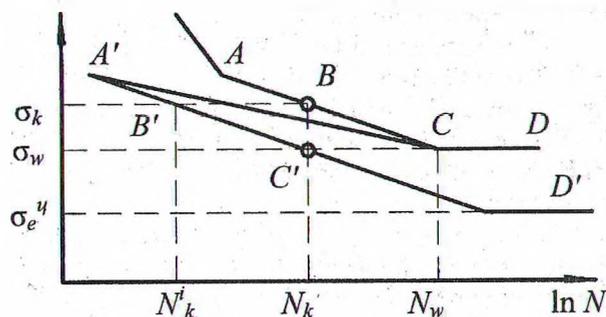


Рис. 2. Диаграмма усталостного разрушения металлов (схема)

Из анализа диаграммы усталости следует, что на начальной стадии действия циклического напряжения заданного уровня в металле происходит накопление упругих искажений кристаллической решетки (I период усталости). Как показывают электронно-микроскопические исследования, в этой стадии еще нет массовых сдвиговых процессов и образования субмикроскопических трещин, а процесс усталости связан с накоплением упругих искажений кристаллической решетки за счет увеличения плотности дислокаций. Субмикроскопические трещины начинают появляться лишь в процессе массового скольжения и в тех объемах металла, где достигнута критическая плотность дислокаций. Нарушение межатомных связей, обусловленное необратимыми искажениями кристаллической решетки в процессе массового

выхода дислокаций на поверхность, является началом разрушения локальных объемов металла (II период усталости – образование и накопление субмикроскопических трещин). Если амплитуда приложенного напряжения достаточна для развития возникающих субмикроскопических трещин до размеров микротрещин, то при определенном числе циклов наступает III период усталости – период развития трещины до разрушения. Следовательно, удельная энергия, затрачиваемая на процесс усталости локального объема металла с момента приложения нагрузки и до образования трещины критической длины, складывается из: 1) удельной энергии «упругой» деформации, расходуемой на процесс искажения кристаллической решетки до критической величины в первый период усталости (накопление критической плотности дислокаций); 2) удельной энергии разрушения, затрачиваемой на процесс нарушения межатомных связей в предельно искаженных объемах кристаллической решетки металла в течение II и III периодов усталости.

Причем общая удельная энергия, затрачиваемая на процесс усталости с начала приложения циклической нагрузки и до разрушения, есть величина постоянная для данного металла и не зависит от амплитуды приложенного напряжения. Исходя из данного утверждения может быть найдено критическое число циклов N_k (число циклов, при достижении которого при напряжении, равном пределу усталости, начинают возникать субмикроскопические трещины) согласно зависимости:

$$N_k = AC_p T_s \frac{1}{\beta_{cp}^2}, \quad (2)$$

где A – механический эквивалент теплоты; C_p – теплоемкость металла при комнатной температуре; T_s – температура плавления; $\beta_{cp} \approx 85 \text{ Н/мм}^2$.

Доказано, что процессы пластической деформации и разрушения протекают скачкообразно, что сопровождается эмиссией волн напряжений. Скачкообразное выделение энергии при разрушении связано с прерывистым характером роста трещины. Это проявляется как в микро-, так и макромасштабе. Скачкообразность роста трещин связана с тем, что для того, чтобы трещина длиной l могла распространяться на некоторую длину, необходимо, чтобы в зоне деформации у вершины трещины на некотором участке длиной Δl была исчерпана пластичность. Механизм исчерпания пластичности зависит от локального напряженного состояния у вершины трещины. При распространении трещины в условиях локальной квазиплоской деформации этот процесс связан с образованием ячеистой дислокационной структуры, способствующей в дальнейшем формированию микропор или субмикротрещин в зоне Δl впереди

трещины. Только при накоплении критического числа единичных объемов разрушения возможен скачок трещины на величину Δl (рис. 3, а).

Процесс образования микропор в зоне у вершины трещины возможен в условиях, когда один из фронтов пластической деформации примыкает непосредственно к устью трещины, образуя характерные лепестки (рис. 3, а). В более жестких условиях нагружения у вершины распространяющейся трещины возможно развитие локальной пластической деформации на некотором удалении от устья трещины (рис. 3, б), так что между пластически деформированной зоной и трещиной создается в микроскопическом масштабе упругодеформированная зона. Это характерно для распространения трещины в жестких условиях плоской деформации, которые реализуются, например, на стадии стабильного роста усталостной трещины при чистой усталости. В этом случае на поверхности трещины возникают характерные усталостные полоски (рис. 3, б) в отличие от ямочного вида поверхности разрушения при распространении трещины в условиях локального квазиплоскодеформированного состояния (рис. 3, в).

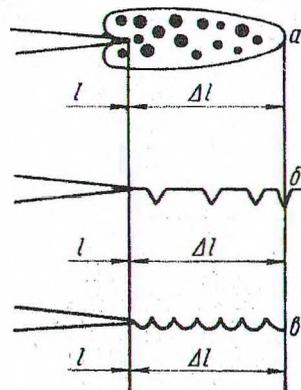


Рис. 3. Механизм образования микротрещины: а – зона повреждения у вершины трещины; б – строение поверхности излома на некотором расстоянии от вершины трещины; в – строение поверхности излома при выходе зоны на поверхность трещины

3. Установки для экспериментальных исследований. Для экспериментального исследования зарождения и развития усталостных трещин были взяты образцы ленточных пил, непосредственно применяемых на предприятии, и образцы, испытываемые на установках, представленных на рис. 4 и рис. 5.

На рис. 4 показана установка, позволяющая проводить сравнительные испытания ленточных пил при частотах, сопоставимых с реальными условиями работы [4]. Образцы l изгибаются по шаблону-копиру с помощью эксцентрика 2, тем самым воспроизводя условия изгиба полотна пилы на шкивах.

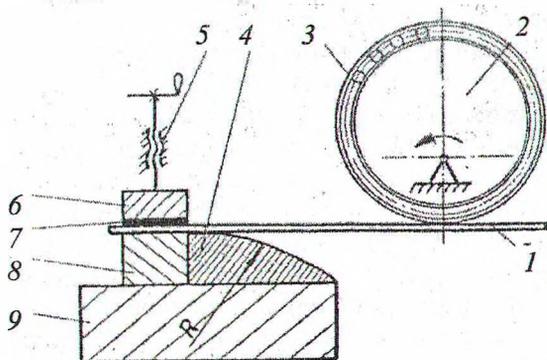


Рис. 4. Установка для сравнительного испытания ленточных пил:

- 1 – образец; 2 – эксцентрик;
- 3 – подшипник; 4 – шаблон-копир;
- 5 – винт; 6 – прижим; 7 – резиновая прокладка;
- 8 – упор; 9 – основание

На рис. 5 приведена установка для испытаний ленточных пил в условиях высокочастотного режима нагружения. При таком виде нагружения время, необходимое для достижения критического числа циклов N_k , составляет всего 30 мин.

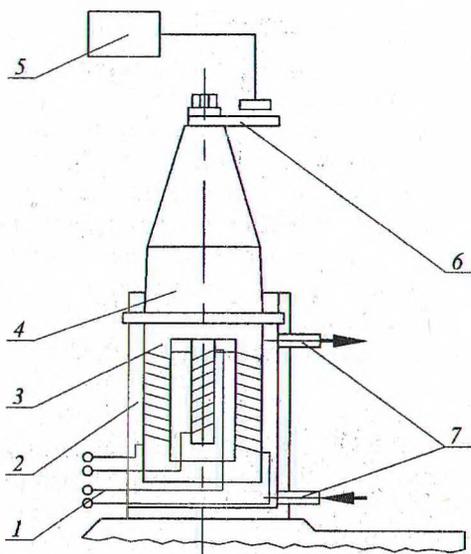


Рис. 5. Установка для высокочастотных испытаний.

- 1 – токоподводящие провода; 2 – корпус;
- 3 – магнестриктор; 4 – концентратор;
- 5 – виброметр; 6 – образец;
- 7 – патрубки для подвода охлаждающей воды

При использовании установок данного типа необходимым условием является резонансный режим работы, который способствует достижению повреждающих напряжений в материале при минимальных энергетических затратах.

Выводы. Проведенные исследования показали, что при высоких и низких частотах нагружения механизм накопления усталостных повреждений практически идентичен.

В данной установке образец 6 испытывает циклические напряжения изгиба по симметричному закону нагружения.

Сравнительные исследования усталостных изломов реальных ленточных пил и образцов, испытываемых на данных установках, показали несколько отличающийся характер разрушения. Это можно объяснить тем фактом, что в таких установках осуществляется только один вид нагружения – консольный изгиб, в то время как полотно пилы находится в сложнапряженном состоянии. Поэтому для получения более достоверных результатов необходимо разработать принципиально новую схему нагружения образцов и конструкцию установки.

Литература

1. Феоктистов, А. Е. Подготовка ленточных пил к работе / А. Е. Феоктистов – М.: Лесн. 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 деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 251–253.
3. Иванова, В. С. Природа усталости металлов / В. С. Иванова, В. Ф. Терентьев. – М.: Металлургия, 1975. – 456 с.
4. Настенко, А. А. Экспериментальное исследование усталости ленточных пил из различных сталей / А. А. Настенко // Деревообраб. пром-сть, 1989. – № 5. – С. 82–89.
5. Царук, Ф. Ф. Использование высокочастотного нагружения для исследования усталостных свойств ленточных пил / Ф. Ф. Царук, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 254–255.