

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В ПОЛОТНАХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

In article the basic strains operating in a cloth of a band saw, and as their factors causing are considered and analysed.

В настоящее время перед деревообрабатывающими предприятиями остро стоит проблема эффективного использования сырья и энергоресурсов. Одним из путей ее решения является использование ленточных пил при распиловке сортимента на пиломатериалы и в столярных работах. Это возможно за счет следующих достоинств: ширина пропила в 2–3 раза меньше по сравнению с рамными и круглыми пилами, соответственно сокращается расход древесины в стружку, а также экономится электроэнергия, что в современных условиях высокой стоимости энергоносителей позволяет снизить расходы на их потребление.

На ленточнопильных станках существует возможность проведения индивидуальной открытой распиловки, что позволяет получать пиломатериалы с требуемым направлением годичных слоев, а также повысить сортность получаемых пиломатериалов, особенно для бревен, имеющих внутренние пороки (центральную гниль, полости и др.), и соответственно повысить процентный выход годного.

Решается проблема распиловки крупногабаритных (по диаметру) бревен.

Высокая скорость резания ленточнопильных станков (40–60 м/с) по сравнению с лесопильными рамами (6–10 м/с) определяет более высокое качество обработанной поверхности, что уменьшает припуск на дальнейшую обработку и в конечном счете ведет к уменьшению потерь древесины.

Необходимо также отметить возможность получения криволинейного пропила ленточными пилами, поэтому в последнее время на мебельных предприятиях их используют также для раскроя тканей, поролона и пр.

Однако существуют определенные проблемы при эксплуатации ленточных пил. В частности, недостаточная точность распиловки при больших скоростях подачи и низкая долговечность полотна пилы. Практика показывает, что в некоторых случаях разрыв полотен происходит уже после 3–4 часов работы, что крайне негативно сказывается как на производительности и стоимости конечного изделия, так и на безопасности труда.

Для повышения долговечности ленточной пилы необходимо провести исследование напряженного состояния пилы и выявить причины возникновения усталостных трещин, которые являются основным фактором выхода пил из строя.

Анализ эксплуатации работы причин выхода из строя ленточных пил показал, что в полотне пилы возникают следующие напряжения [1]:  $\sigma_{нат}$  – от сил натяжения;  $\sigma_{изг}$  – от изгиба на шкивах;  $\sigma_{ц.с}$  – от центробежных сил;  $\sigma_{рез}$  – от сил резания;  $\sigma_{вал}$  – от вальцевания;  $\sigma_t$  – от температурного перепада;  $\sigma_{ш}$  – от выпуклости профиля шкива или его наклона;  $\sigma_{пр}$  – 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). Для определения результирующего напряжения необходимо охарактеризовать каждое из них.

1. 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/мм<sup>2</sup>. Оно распределено неравномерно по ширине, и ее величина больше у зубчатой кромки в области впадин зубьев, которые, в свою очередь, являются концентраторами напряжений. Значение коэффициента концентрации напряжений зависит от радиуса скругления впадины зуба и качества ее обработки.

2. Напряжение от изгиба полотна на шкивах определяется по формуле

$$\sigma_{изг} = E \frac{t}{(D+t)(1-\mu^2)} \approx E \frac{t}{D}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости стали при растяжении ( $E = 2,2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>);  $t$  – толщина полотна пилы, мм;  $D$  – диаметр шкивов, мм;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Исходя из практики, толщину полотна рекомендуется выбирать в зависимости от диаметра шкивов:

$$t = (0,001 - 0,0007)D. \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в формулу (1), определяем, что напряжения от изгиба не превышают 220 Н/мм<sup>2</sup>. Эти напряжения также распределены неравномерно по ширине, поэтому при расчетах должен учитываться коэффициент концентрации напряжений при изгибе.

3. Напряжения от центробежных сил возникают только в процессе движения пилы. С их появлением увеличивается натяжение пилы, но уменьшается давление на шкивы. Величина напряжения определяется по формуле



$$\sigma_{ц.с} = 0,001\rho V^2, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность стали ( $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$ );  $V$  – скорость резания, м/с; При  $V = 35\text{--}50 \text{ м/с}$ ,  $\sigma_{ц.с} = 9\text{--}20 \text{ Н/мм}^2$ .

4. Напряжения от сил резания. С учетом того, что местом приложения сил резания являются зубья пилы, напряжения от этих сил концентрируются у зубчатой кромки и могут достигать значительных величин. Однако среднее значение по всей ширине полотна обычно не превышает  $10\text{--}15 \text{ Н/мм}^2$ . Следует также учитывать, что при отклонении пилы от плоскости пропила боковая составляющая силы резания будет создавать в полотне пилы напряжения кручения.

5. Напряжения от вальцевания. Для обеспечения устойчивости пилы во время работы и уменьшения общего усилия натяжения ее вальцуют, т. е. создают первоначальное напряженное состояние [2]. В зависимости от конструкции ленточнопильного станка и профиля шкивов различают вальцевание симметричное и «на конус». Распределение напряжений по ширине полотна представлены на рис. 1.

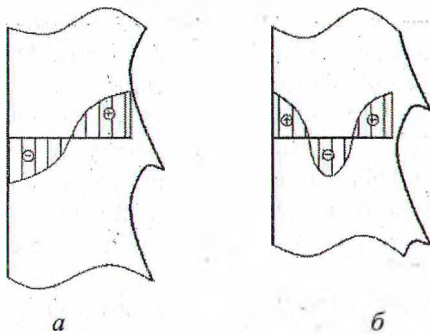


Рис. 1. Распределение напряжений при различных видах вальцовки: а – «на конус»; б – симметрично

6. Напряжения от наклона верхнего шкива или от его выпуклого профиля. Для предотвращения спадания ленточной пилы со шкивов во время работы от нормальной составляющей силы резания верхний шкив либо наклоняют, либо делают выпуклым обод. В первом приближении эти напряжения можно определить по закону Гука:

$$\sigma_{шк} = E \frac{\Delta l}{L}, \quad (4)$$

где  $\Delta l$  – стрела выпуклости обода, или  $\Delta l = b \cdot \text{tg} \alpha$  при наклоне шкива;  $b$  – ширина ленты;  $\alpha$  – угол наклона шкива;  $L$  – расстояние между наиболее удаленными точками двух шкивов.

Значение напряжений от выпуклости или наклона шкива находится в пределах  $12\text{--}22 \text{ Н/мм}^2$ .

7. Термические напряжения можно определить по формуле [3]:

$$\sigma_t = E\alpha(t_{\text{пилы}} - t_{\text{среды}}), \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения, ( $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} - 13 \cdot 10^{-6}$ );  $t_{\text{пилы}}$  – температура пилы;  $t_{\text{среды}}$  – температура окружающей среды.

Обычная рабочая температура полотна пилы  $28\text{--}48^\circ$  при температуре помещения  $18\text{--}20^\circ$ .

Среднее значение температурных напряжений составляет  $22\text{--}55 \text{ Н/мм}^2$  и может достигать  $150 \text{ Н/мм}^2$  при резком ухудшении условий пиления (изворот пилы, потеря устойчивости и пр.) и критическом затуплении зубьев.

Однако ленточные пилы находятся в самых благоприятных условиях охлаждения по сравнению с остальным деревообрабатывающим инструментом. Полотно охлаждается на воздухе при движении в области холостой ветви и соприкасается со шкивами, чья теплоемкость во много раз выше теплоемкости пилы. Если при выходе из пропила максимальная температура наблюдается у зубчатой кромки пилы, то при входе температура практически выравнивается по ширине полотна.

Напряжения от нагрева ослабляют зубчатую кромку. Для того чтобы пила не потеряла устойчивость, напряжения растяжения за счет вальцевания должны быть больше, чем напряжения сжатия от нагрева.

8. Прочие напряжения. В данную группу относятся напряжения, возникающие из-за неправильной регулировки либо эксплуатации станка; напряжения, трудно поддающиеся учету или имеющие незначительную величину по сравнению с другими. Однако в некоторых случаях данные напряжения могут оказать решающее влияние на аварийный выход из строя ленточных пил.

На рис. 2 представлена эпюра напряжений от натяжения, изгиба, центробежных сил и сил резания, как наиболее влияющих на долговечность пилы. Условно выделим шесть характерных точек и проанализируем каждую из них во время работы инструмента. Начиная с наименее нагруженной точки 1. В данной точке холостой ветви ленточной пилы действуют напряжения, перечисленные выше, кроме  $\sigma_{изг}$  и  $\sigma_{рез}$ . Данное утверждение справедливо для всего участка холостой ветви.

Точка 2. Дополнительно начинают действовать напряжения изгиба от огибания полотном пилы ведомого шкива. Это условие выполняется на участке 2–3.

Точка 4. Полотно ленточной пилы входит в пропил с таким же напряжением, как и в точке 1. На участке 4–5 происходит непосредственно сам процесс резания древесины, который сопровождается сильным нагревом полотна пилы. Процесс нагружения характеризуется ступенчатостью. Количество ступеней зависит от количества зубьев, находящихся в пропилах. Напряжения от сил резания в основном сконцентрированы на зубчатой кромке.

Точка 5. Выход полотна пилы из контакта с древесиной. Напряжения от сил резания распределяются по всей ширине полотна.

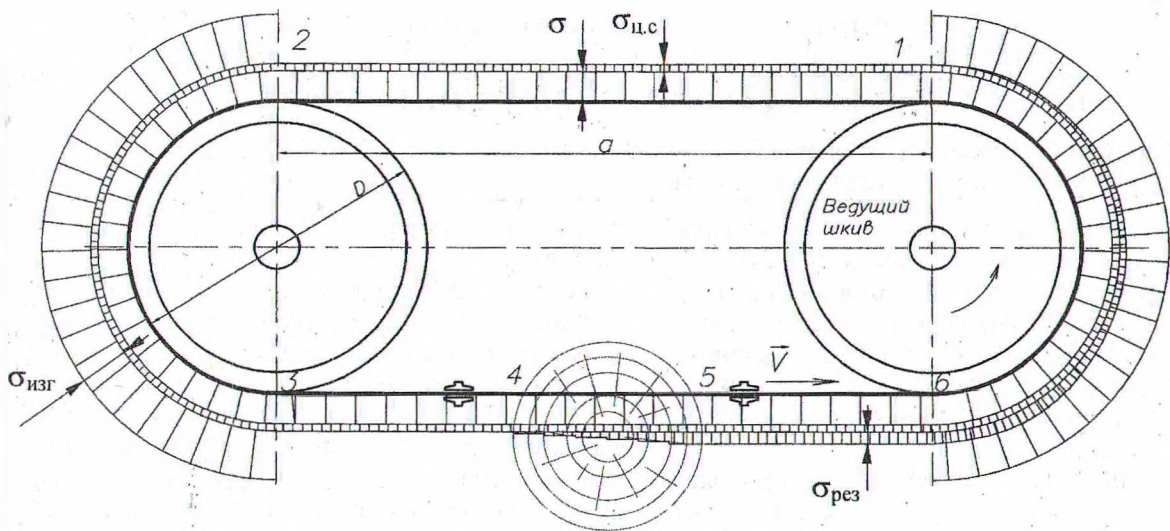


Рис. 2. Эпюра напряжений от натяжения, изгиба, центробежных сил и сил резания

Точка 6. Самая нагруженная точка в ленточной пиле во время работы. Как показывает практика, в данной области чаще всего и происходит обрыв полотна. Это связано не только с наличием максимального напряжения растяжения и изгиба, но и наличием сильного перепада температуры при соприкосновении нагретой пилы с холодным ободом шкива, что, соответственно, и приводит к значительным термическим напряжениям.

На участке 6-1 происходит уменьшение напряжений от сил резания по зависимости Эйлера, которые становятся равными нулю в области точки 1.

На долговечность пилы кроме величины напряжения влияет его характер.

В среднем ленточные деревообрабатывающие станки имеют диаметр шкивов  $D$  от 800 до 1500 мм, расстояние между шкивами  $a$  1600-3000 мм и скорость ленты 40-55 м/с. Время пробега ленты полного цикла  $t$ :

$$t = \frac{\pi D + 2a}{V} \quad (6)$$

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.

Можно утверждать, что основная причина выхода из строя ленточной пилы - наличие изгибных напряжений, которые являются максимальными, составляют более 60% от общего напряжения и имеют циклический характер нагружения.

#### Литература

1. Феокистов А. Е. Подготовка ленточных пил к работе. - М.: Лесн. пром-сть, 1971. - 72 с.
2. Настенко А. А. Подготовка ленточных пил. - М.: Лесн. пром-сть, 1989. - 152 с.
3. Феокистов А. Е. Нагрев ленточных пил // Деревообраб. пром-сть. - 1975. - № 7. - С. 8-9.