УДК 674.053:621.935

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ РАБОЧЕГО УЧАСТКА ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ НА ТОЧНОСТЬ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

В.К. Шилько*, И.В. Слепченко*, А.А. Кондратюк

Томский политехнический университет
E-mail: publish@tpu.ru
*Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: docent46@yandex.ru

Рассмотрено влияние условий закрепления рабочего участка ленточной пилы возле рабочей зоны на статическую жесткость, устойчивость и точность распиловки древесины. Рассмотрена работа направляющих устройств деревообрабатывающих ленточнопильных станков, футерованных гибкими эластичными элементами, в которых взаимодействие ленточной пилы с направляющими создает условия закрепления рабочего участка по типу подвижной жесткой заделки. Приведены апробированные компоновочные схемы направляющих устройств ленточнопильных станков, представляющие интерес для практического использования.

Ключевые слова:
Направляющие устройства ленточнопильных станков, подвижная жесткая заделка, ролики, футерованные гибкими эластичными элементами, рабочий участок ленточной пилы, точность распиловки древесины.

Изучение вопроса обеспечения качества распиловки древесины ленточными пилами на горизонтальных ленточнопильных станках, показало, что точность пиления зависит от устойчивости ленточных пил (ЛП) в зоне резания. При этом под устойчивостью ЛП понимают их способность сохранять заданную траекторию движения зубьев в пропиле в соответствии с параметрическими уравнениями [1], а под потерей устойчивости ЛП понимают величину наибольшего отклонения пилы (прогиба *y*) от плоскости ее натяжения под действием внешних сил [2, 3]. Прогиб пилы в рабочей зоне не должен превышать значений отклонений разнотолщинности размеров выпиливаемых пиломатериалов. Для уменьшения прогиба пилы в зоне резания и повышения ее устойчивости можно идти двумя путями.

1. Повышать момент инерции сечения ленточной пилы, увеличивая ее ширину *b* и толщину *s*, что и наблюдается в практике ленточнопильной распиловки, когда ширина ЛП достигает значений 300...400 мм и более, а толщина – 2...3 мм. Но как следует из анализа функции прогиба, увеличение момента инерции *J* поперечного сечения ЛП и, соответственно, жесткости при изгибе *EJ* ее рабочего участка, оказывают нелинейное влияние на снижение прогиба *y* [3]:

$$y = \frac{2 P_б \, l}{\pi^2 \left(\frac{\pi^2 E J}{l^2} + F_0 \right)},$$

где $P_б$ – нагрузка от разности боковых составляющих сил резания, (боковая сила, изгибающая пилу), E – модуль упругости материала пилы, F_0 – усилие предварительного натяжения ЛП в статике, l – длина рабочего участка ЛП между направляющими.

На практике увеличение размеров поперечного сечения пил приводит к увеличению диаметров шкивов, габаритов, массы и стоимости станка.

2. Другой путь снижения прогиба *y* ЛП вытекает из фундаментальных положений теории устойчивости упругих систем, т. е. стержней, пластин, панелей и оболочек [4]. Из этих положений следует, что, изменяя условия закрепления, т. е. переходя, например, от шарнирных опор к жесткой заделке краев можно до 4 раз повысить сопротивление упругой системы действию критических сил. Для рабочего участка ЛП, представляющего собой тонкую пластину это означает, что при одном и том же уровне внешних воздействий можно снизить прогиб в 2,5...4 раза, изменяя условия закрепления, что следует из сравнения приведенных ниже выражений.

Для растянутой и шарнирно опертой пластины прогиб составит [4]:

$$y = \frac{P_б l}{\frac{48 E I}{l^2} + F_0},$$

Для растянутой пластины с жестко заделанными краями [4]:

$$y = \frac{P_б l}{\frac{192 EI}{l^2} + F_0}.$$

Проблема заключается в том, что ЛП представляет собой подвижную систему, поэтому возникают трудности конструктивного плана с формированием подвижной жесткой заделки, как это показано в работе [3]. Однако последние исследования и разработки, проведенные авторами, показали, что можно обеспечить формирование подвижной жесткой заделки и, соответственно, повысить жесткость и устойчивость пилы в пределах допустимого прогиба *y*, применяя двухсторонние роликовые направляющие, футерованные гибкими эластичными элементами (рис. 1). Они обеспечат закрепление пилы по типу подвижной жесткой заделки вместо подвижных шарнирных опор, которыми

являются традиционные одно- или двухсторонние стальные направляющие.

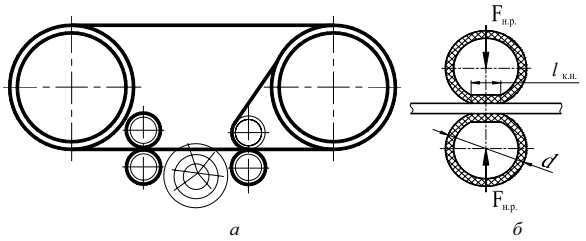

Рис. 1. *Схемы направляющих роликов ленточнопильного станка: а) установка роликов в механизме резания; б) футерованные ролики на основе длинных контактов трения относительного покоя; $l_{к.н}$ – длина пятна контакта с направляющими ; $F_{н.р.}$ – усилие прижима направляющего ролика; d – диаметр футерованного ролика*

В данном случае деформация гибких эластичных элементов обеспечивает необходимые пятна контакта с обеих сторон пилы, что позволяет за счет сил трения обеспечить устойчивые реакции на действие нормальной составляющей силы резания, препятствующие поперечному сдвигу ленточной пилы по шкивам станка. В отличие от стальных двухсторонних роликовых направляющих, площадь контакта была увеличена за счет обрезиненных роликов, это обеспечивает условие создания подвижной жесткой заделки пилы. При двухсторонней заделке ленточной пилы в обрезиненных направляющих при одних и тех же силах натяжения повышаются жесткость рабочего участка ЛП за счет увеличения собственных частот колебаний и присоединенных масс направляющих роликов.

Для обеспечения условий устойчивого пиления необходимо, чтобы суммарная составляющая реакций на сдвигающую компоненту усилия подачи превышала нормальную составляющую от сил резания, т. е. чтобы выполнялось условие:

$$4F_{тр} = 4\mu P_{пр} \geq P_y, \qquad (*)$$

где $F_{тр}$ – сила трения на одном пятне контакта, Н, $P_{пр}$ – усилие прижима направляющего ролика к ленточной пиле, Н, P_y – нормальная составляющая сил резания по группе зубьев ЛП в пропиле, Н, μ – коэффициент сцепления между ЛП и футеровкой направляющего ролика.

Расчеты показывают, что у станков легкого класса при пилении древесины нормальная составляющая сил резания P_y может достигать значений 50...60 Н. В то же время при усилии прижима направляющего ролика к ленточной пиле $P_{пр.}$=50 Н, суммарная реакция для противодействия сдвигу ЛП на 4-х направляющих роликах составит 60...100 Н при μ=0,3...05, что удовлетворяет условию (*).

Для обеспечения условий точного пиления и перехода к жесткой подвижной заделке рабочего участка ЛП необходимо знать минимально допустимые размеры пятна контакта футеровки направляющего ролика с ленточной пилой. Поскольку аналитически это определить сложно, то для получения необходимых данных были проведены экспериментальные исследования.

Опытами на основе классической методики авторами исследовано влияние жесткости участка ЛП в статике в зависимости от величины пятна контакта между ленточной пилой и резинокордовой футеровкой направляющих опор. Экспериментальная оценка статической жесткости ЛП в двухсторонних роликовых обрезиненных направляющих осуществлялась на гибком экспериментальном модуле, выполненном по типу циклопозиционного горизонтального ленточнопильного станка и позволяющем применять различные схемы направляющих устройств. В качестве футеровки двухсторонних роликовых направляющих использовался резинокордовый клиновой ремень профиля Б от 50 до 80 ед. твердости по Шору, выступающий за пределы ролика на 2...3 мм для создания необходимого пятна контакта. Полученные экспериментальные данные представлены в виде графика (рис. 2).

При помощи программы Excel были получены математические зависимости изменения начальной жесткости от длины контакта с направляющими $l_{к.н.}$ обрезиненными роликами. Аппроксимирующая функция примет вид полинома третьего порядка для пил толщиной 1,0 мм: $c_{п1}$=0,0051$l_{к.н.}^3$–0,29$l_{к.н.}^2$+5,30$l_{к.н.}$+4,35; для толщины 0,9 мм – $c_{п2}$=0,0042$l_{к.н.}^3$–0,22$l_{к.н.}^2$+3,99$l_{к.н.}$+4,25.

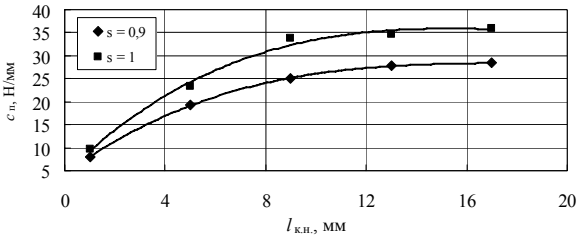

Рис. 2. *Зависимость начальной жесткости $c_п$ рабочего участка ЛП в статике от длины пятна контакта с направляющими $l_{к.н.}$ при напряжениях предварительного натяжения σ_0=40 МПа; P_σ=15 Н; ширине пилы b=30 мм; l=300 мм*

Как видно из графика**,** при увеличении площади пятна контакта путем увеличения давления ролика на пилу, статическая жесткость участка ЛП между направляющими возрастает нелинейно. С увеличением площади пятна контакта жесткость участка ЛП между направляющими увеличивается. При достижении пятна контакта размером более 8 мм по длине пилы шириной 30 мм дальнейшее увеличение жесткости изменяется незначительно. Отсюда следует, что для узких ленточных пил шириной до 30 мм пятно контакта футеровки направляющих на ленточной пиле должно быть величиной 8...10 мм по длине пилы. Это обеспечивает устойчивые опорные реакции рабочего участка ленточной пилы на действие нормальной составляющей силы резания. Дальнейшее увеличение длины пятна контакта не имеет смысла, так как жесткость участка ленточной пилы между направляющими существенно не увеличивается. Данный эксперимент, проведенный в статике, указывает на

формирование жесткой заделки с длиной пятна контакта 8...10 мм по обеим сторонам пилы.

На основании статического эксперимента можно сделать следующие выводы.

1. Как видно из графика (рис. 2), с увеличением площади пятна контакта между ЛП и резинокордовой футеровкой направляющих жесткость участка ЛП между направляющими увеличивается.
2. Зависимость жесткости ленточной пилы от длины пятна контакта с направляющими имеет вид полинома третьего порядка.
3. Для пил шириной 30 мм длина пятна контакта должна лежать в диапазоне 8...10 мм.

В динамике поведение подвижной жесткой заделки ЛП оценивалось по точности геометрических форм выпиливаемых пиломатериалов, косвенно характеризующих устойчивость работы ленточных пил. Также учитывались скорость подачи и величина подачи на зуб, определяющие производительность ленточнопильного станка. Результаты замеров точности сечений получаемых пиломатериалов в сравнении с расчетными данными показали, что точность распиловки ленточными пилами, удерживаемыми на двухсторонних роликовых обрезиненных направляющих значительно выше, чем в случае роликовых стальных направляющих, работающих на отжим (рис. 3). При этом можно при существующей точности пиления повысить скорость подачи в 2...2,5 раза. Еще одной особенностью применения двухсторонних роликовых направляющих опор, футерованных гибкими эластичными элементами, оказался новый способ регулировки положения ленточной пилы на шкивах за счет разворота роликов на 0,2...0,5° в сторону распиливаемого материала. Данный способ регулировки положения ЛП на шкивах оказался проще в исполнении и надежнее, чем существующий ранее за счет разворота ведомого шкива.

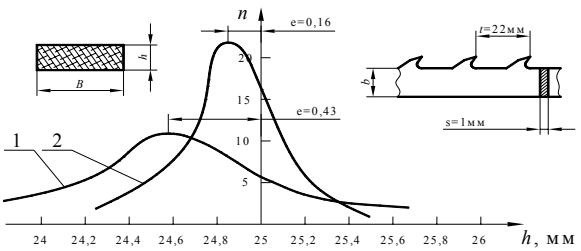

Рис. 3. *Результаты замеров точности сечений получаемых пиломатериалов: 1) с односторонними роликовыми отжимными направляющими; 2) с двухсторонними обрезиненными поджимными направляющими; t – шаг зуба ленточной пилы; h – толщина пиломатериала; B – ширина пиломатериала; e – эксцентриситет*

Выводы

1. Повысить точность и производительность распиловки пиломатериалов на ленточнопильных станках можно, применяя роликовые направляющие с двухсторонним поджимом ленточной пилы, футерованные гибкими эластичными элементами.
2. Роликовые направляющие, футерованные гибкими эластичными элементами с выступом на 2...3 мм над поверхностью ролика, создают необходимые пятна контакта и формируют подвижную жесткую заделку для рабочего участка ленточной пилы.
3. Для узких ленточных пил шириной до 30 мм пятно контакта футеровки направляющих на ленточной пиле должно быть 8...10 мм по длине пилы. Это обеспечивает устойчивые опорные реакции рабочего участка ленточной пилы на действие нормальной составляющей силы резания.
4. Разворот направляющих роликов в сторону распиливаемого лесоматериала на 0,2...0,5° позволяет производить регулировку положения ленточной пилы на шкивах и предотвращать смещение пилы со шкивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Силин В.В. и др. Траектория движения резца в древесине при пилении. – Красноярск: КГТА, 1996. – 24 с.
2. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 152 с.
3. Шилько В.К. Механизмы резания ленточнопильных станков. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2005. – 220 с.
4. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 311 с.

Поступила 06.02.2008 г.