

## РОЛЬ КРИТИЧЕСКИХ СИЛ В ОПРЕДЕЛЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

В.К. Шилько, И.В. Слепченко, В.Г. Легостаев, А.А. Кондратюк\*

\*Томский политехнический университет

E-mail: publish@tpu.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: docent46@yandex.ru

В рамках общих положений по теории устойчивости ленточных пил рассмотрен механизм потери устойчивости для пил разной ширины. Приведены экспериментальные данные по оценке критических сил, представляющие интерес для практического использования. Показано незначительное влияние критических сил на устойчивость узких ленточных пил, для которых механизм зарождения прогибов будет отличаться от механизмов возникновения прогибов на широких ленточных пилах.

### Ключевые слова:

Распиловка древесины; ленточные пилы; устойчивость ленточной пилы, критические силы, боковые силы, гипербола Эйлера, методы расчетов на устойчивость.

Одной из причин неточной распиловки древесины является потеря устойчивости рабочего участка ленточной пилы (ЛП) в зоне пропила. При изучении вопросов устойчивости ЛП пользуются основными положениями теории упругости [1], рассматривая отрезок пилы как тонкую пластину, нагруженную критической и боковой силами. Так, например, в работе [2] оцениваются значения критических сил и величины прогибов рабочего участка ленточной пилы в зависимости от различных факторов. Основные выводы автора сводятся к рассмотрению механизма потери устойчивости ЛП под действием критических сил и рекомендациям по их снижению на рабочем участке пилы. При этом механизм потери устойчивости для узких и широких ЛП не разделяется. Между тем, как показывает практика, он будет разный. Так, для широких ленточных пил большое значение оказывает действие критических сил  $F_{кр}$ , формирующихся под действием нормальной составляющей сил резания  $P_y$ , а для узких, – действие боковых сил  $P_6$ , формирующихся от разности осевых составляющих сил резания и центробежных сил. Для пил средней ширины механизм потери устойчивости будет смешанным, т. е. надо учитывать совместное действие

критических и боковых сил. Таким образом, на основании анализа проведенных ранее исследований в области распиловки древесины ленточными пилами, а также условий работы ленточнопильных станков, можно выделить 3 основных случая потери устойчивости ЛП, связанных с шириной механизмом соотношения действующих сил:

1. Для узких ленточных пил шириной 30...60 мм, – сдвиг на шкивах под действием критической силы и прогиб рабочего участка под действием боковой силы, рис. 1, б.
2. Для широких ленточных пил шириной более 150 мм, – прогиб под действием критической силы, рис. 1, в.
3. Для ленточных пил шириной 100...150 мм, – прогиб и сдвиг на шкивах под действием критической и боковой сил, рис. 1, г.

Чтобы проверить данные предположения, проведем расчет критических сил по методу Л. Эйлера для условий: ширина пилы  $b=30, 150, 270$  мм; толщина пилы  $s=0,9; 1,0; 1,1$  мм; длина отрезка пилы  $l=const=25$  мм; модуль упругости  $E=220000$  МПа. Критические силы  $F_{кр}$ , Н, определим по формуле [3]:

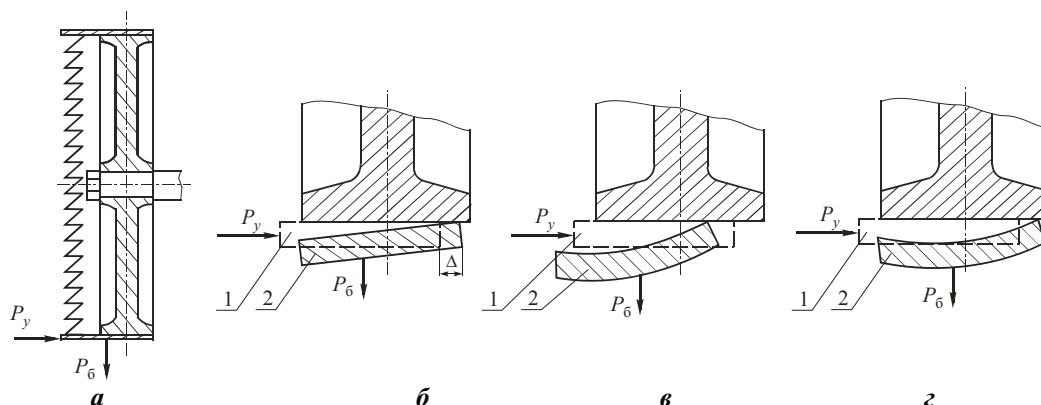


Рис. 1. Схема деформации рабочего участка ЛП под действием нормальной составляющей силы резания  $P_y$  в момент врезания в древесину: а) при исходном положении ЛП; б) для узких ЛП; в) для широких ЛП; г) для ЛП средней ширины; 1 – исходное положение пилы, 2 – сдвиг пилы (начало работы «в отвал»)

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{4b^2},$$

где  $I$  – моменты инерции,  $\text{мм}^4$ ,  $I = \frac{ls^3}{12}$ .

Расчетные значения критических сил представлены на графике, – гипербола Эйлера, рис. 2.

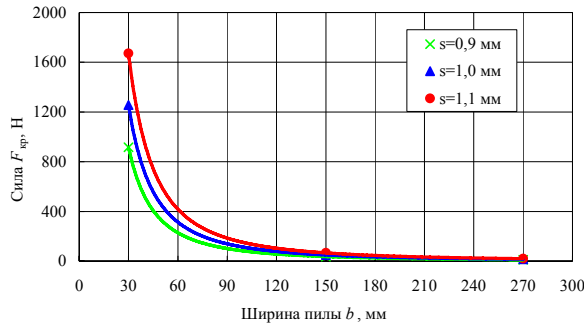


Рис. 2. Расчетные значения критических сил от ширины пилы

Экспериментальная проверка данных предположений проводилась в статике опытами на основе классической методики, где изучалось влияние критической силы  $F_{кр}$  на потерю устойчивости ЛП. Схема нагружения отрезка ленточной пилы критической силой представлена на рис. 3. В качестве экспериментальной установки использовался испытательный стенд с точностью измерения 1,0 Н. При проведении экспериментов определялись числовые значения критических сил в зависимости от ширины и толщины пилы. В качестве постоянных факторов были приняты: длина отрезка пилы  $l$  и материал ЛП с постоянным модулем упругости; а в качестве переменных факторов, – ширина  $b$  и толщина  $s$  пилы. Значения переменных факторов и интервалы их варьирования представлены в таблице. В качестве оценочных показателей приняты: прогиб ленточной пилы  $y$ , мм; значение критической силы  $F_{кр}$ , Н.

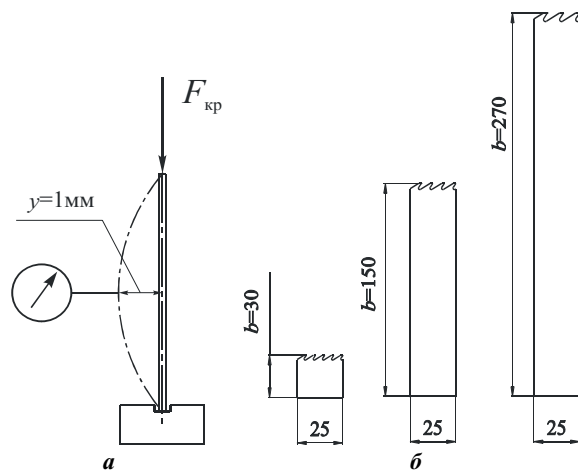


Рис. 3. Схема нагружения отрезка ленточной пилы критической силой: а) схема установки образцов; б) параметры отрезков ленточных пил

Таблица. Переменные факторы и интервалы их варьирования

Параметры пилы, мм	Уровни факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
Ширина	30	150	270	120
Толщина	0,9	1,0	-	0,1

В результате экспериментальных исследований получены аппроксимирующие функции для критических сил в зависимости от ширины пилы:  $F_{кр} = 13,01 \cdot 10^5 b^{-1,977}$ , для пил толщиной 1,0 мм и  $F_{кр} = 7,525 \cdot 10^5 b^{-1,905}$  для пил толщиной 0,9 мм.

Таким образом, на основании теоретических и экспериментальных исследований выяснилось, что критические силы  $F_{кр}$  для узких ленточных пил (до 60 мм) на порядок превышают значения нормальной составляющей силы резания  $P_y$ , эквивалентной усилию подачи. Отсюда следует, что при определении устойчивости узких ЛП не стоит ориентироваться на расчеты критических сил  $F_{кр}$ . Так, при подаче на зуб  $U_z = 0,2$  мм, ширине пропила  $B = 2$  мм, удельной силе резания (давлению резания)  $k = 10$  МПа; числе зубьев, участвующих в работе,  $z = 20$  шт. (ширине распиливаемых пиломатериалов 440 мм при шаге зубьев 22 мм), нормальная составляющая силы резания составит:

$$P_y = 0,4kBU_z z = 32 \text{ Н.}$$

Для пилы шириной 60 мм это в 10 раз меньше расчетных значений критических сил, представленных на гиперболе Эйлера. Отсюда следует, что учет действия критических сил необходимо проводить при ширине пилы, равной 120 мм и более. Поэтому для узких пил шириной 30...60 мм надо ориентироваться на расчеты, связанные с потерей жесткости от действия эквивалентной боковой силы, поперечным сдвигом пилы на шкивах и общей дисторсией траектории резания, а небольшими параметрами действующих критических сил  $F_{кр}$  для узких ЛП можно пренебречь. При этом можно пользоваться упрощенными методами расчетов на устойчивость, например, методом Бубнова [1–3].

На основании полученных экспериментальных данных установлено, что с уменьшением ширины пилы возрастает ее сопротивление критической силе  $F_{кр}$ . Это полностью подтверждает результаты теоретических исследований.

### Выводы

1. Выделены условия потери устойчивости ленточной пилы при ширине полотна 30...60; 100...150 и свыше 150 мм, обусловленные влиянием критических сил, формирующихся от действия нормальных составляющих сил резания.
2. Для пил шириной 30...60 мм нормальная составляющая силы резания не приводит к потере устойчивости, а является сдвигающей силой, приводящей к смещению ленточной пилы по шкивам в направлении действия вектора усилия подачи. Потеря устойчивости узкой ленточной пилы будет происходить вследствие дей-

- ствия боковых сил и поперечного смещения ленточной пилы по шкивам.
- Для пил шириной 100...150 мм механизм потери устойчивости будет носить смешанный характер, обусловленный действием критических сил и сдвига по шкивам.
  - Учет действия критических сил при оценке устойчивости необходимо проводить для пил шириной 120 мм и более: с возрастанием ширины пилы фактор критической силы будет все более доминировать при отклонениях ленточной пилы от плоскости пропила.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алфуртов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 311 с.
- Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 240 с.
- Беляев Н.М. Соппротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 607 с.

Поступила 23.06.2008 г.

УДК 621.9

## СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ С РАЗВИТОЙ ЗОНОЙ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ РЕЗАНИИ МАТЕРИАЛОВ

С.И. Петрушин, А.В. Проскоков\*

Томский политехнический университет

\*Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ, г. Юрга

E-mail: andrey\_proskokov@rambler.ru

*Предложена схема стружкообразования с развитой зоной пластических деформаций на основе полей линий скольжения. Показан вывод уравнений для граничных линий пластической зоны. Приведена методика и пример расчета внутренних и контактных напряжений.*

#### Ключевые слова:

*Резание металлов, напряженно-деформированное состояние, зона пластических деформаций, линии скольжения, контактные напряжения.*

Экспериментально доказано, что при обработке материалов резанием превращение срезаемого слоя в стружку происходит в пластической зоне, имеющей сложную форму. Предпринимались многочисленные попытки моделирования этой зоны на основе построения полей линий скольжения. Согласно теории пластичности [1] линии скольжения представляют собой два семейства взаимно ортогональных криволинейных координат, вдоль которых действуют максимальные касательные напряжения. Если удастся построить кинематически возможное поле линий скольжения, то возможен и расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) в зоне стружкообразования.

Первая серьезная попытка построить поле линий скольжения в зоне стружкообразования при свободном ортогональном резании принадлежит Н.Н. Зореву [2]. К сожалению, правильно отражая картину пластических деформаций, наблюдаемых на микрофотографиях корней стружки, эта схема не поддается обсчету из-за некоторого произвола в проведении линий скольжения. Другие схемы позволяют рассчитать напряжения в пластической зоне, но отдают предпочтение либо области пер-

вичных деформаций, прилегающей к свободной поверхности срезаемого слоя и стружки, либо области вторичных деформаций, окружающей лезвие инструмента. Поэтому задача разработки схемы полей скольжения в пластической зоне, правильно отражающей результаты экспериментов и в то же время поддающейся расчету, остается до сих пор не решенной.

В работе [3] была предложена схема стружкообразования с развитыми зонами пластических деформаций для условий, когда передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  угол лезвия инструмента равны нулю. Ее можно применить и для случаев, когда углы  $\alpha$  и  $\gamma$  отличны от нуля. При этом уравнения границ зон пластичности будут отличаться от полученных ранее. Рассмотрим методику построения сетки линий скольжения в пластической области в предположении, что первопричиной изменения геометрии зоны пластичности являются контактные явления на трущихся площадках лезвия инструмента.

Форма и размеры участка пластичности, прилегающего к лезвию (зоны вторичных деформаций) зависят от условий трения на передней и задней поверхности, которые в свою очередь определяют