

расчетах значения  $N$  количество этих параметров не учитывается в связи с крайне низкой частотой их возможного обновления.

## Литература

1. Федотов, А. В. Использование методов теории автоматического управления при разработке мехатронных систем / А. В. Федотов. — Омск: Из-во ОмГТУ, 2007. — 385 с.
2. Gulay, A. Environmental monitoring with the use of vita «subjective touch system» / A. Gulay, V. Gulay // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. 3rd edition. Vol. 1. Natural sciences. Technical sciences. — San Francisco: B&M Publishing, 2014. — P. 41-47.
3. Колешко, В. М. Термодинамическая модель функционирования интеллектуальной сенсорной системы / В. М. Колешко, А. В. Гулай, В. А. Гулай // Наука и техника. — 2012. — № 1. — С. 40-47.
4. Колешко, В. М. Синтез сенсорных и интеллектуальных технологий в научном познании / В. М. Колешко, А. В. Гулай, В. А. Гулай // Высшая школа. — 2011. — №2. — С. 53-57.
5. Гулай, А. В. Экспертная логико-вероятностная модель интеллектуальной системы управления / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // Наука и техника. — 2014. — № 1. — С. 30-37.
6. Харин, Ю. С. Математические и компьютерные основы криптологии / Ю. С. Харин, В. И. Берник, Г. В. Матвеев, С. В. Агиевич — Минск: Новое знание, 2003. — 382 с.
7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель — М.: Наука, 1969. — 576 с.
8. Кларк, Д. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Д. Кларк, Д. Клейн. — М.: Радио и связь, 1987. — 392 с.
9. Мартин, Д. Организация баз данных / Д. Мартин. — М.: Мир, 1980. — 662 с.

**УДК 674. 023**

**Дечко Э.М. 1, Густяков П.В., Сизов С.В., Маркевич Ю.Р.**

### ***ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕНТОЧНОМ ПИЛЕНИИ***

***Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь***

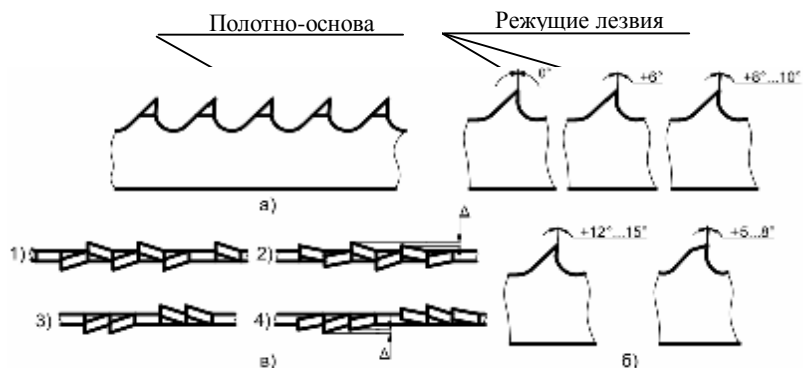
***ООО «ВИ\_МЕНС», Минск, Республика Беларусь***

*Ленточные пилы в процессе резания испытывают различные деформации и температуры. Результаты исследований могут быть использованы для снижения себестоимости и увеличения производительности при ленточном пилении.*

Ленточные пилы биметаллические, твердосплавные, из высокоуглеродистых сталей, алмазные, фирм WIKUS, AMADA, LENOX, ВАНСО и др., применяемые в различных отраслях промышленности, отличаются конструктивными и геометрическими параметрами и областью применения [1,2,3].

Биметаллические пилы состоят из полотна-основы упругой рессорно-пружинной стали (аналог – 45ХГНМФА) и зубьев с режущими лезвиями из быстрорежущей стали (10P2M10K8 или 12P10M4K10; HRC = 67...70), рис.1, а). [2,3].

Область применения ленточных пил данного типа определяет, соответственно, формы зубьев; величины переднего угла –  $\gamma = 0...+15^{\circ}$ ; вид разводки; форму стружечных канавок, рис. 1, б). Отклонения зуба при разводке для различных типов пил составляет  $\Delta = 0,3 \dots 0,5$  мм, рис. 1, в).



а) биметаллическое ленточное полотно; б) типы передних углов;  
в) типы разводок зубьев 1,3 - стандартная, 2 - групповая, 4 - волна

Рисунок 1 – Конструктивные элементы биметаллической ленточной пилы

Обработку биметаллическими ленточными пилами возможно рассматривать, как свободное резание, где каждый зуб имеет одну главную режущую кромку с минимальным углом  $\lambda$ . Величины переднего угла и тип разводки влияют на условия работы зубьев ленточного полотна. Режущие лезвия  $h_1-h_2-h_3$  разведенных зубьев в процессе резания подвергаются переменным нагрузкам. Зуб, разведенный вправо, режет частью режущей кромки шириной  $BC$ , разведенный влево –  $AB$ , прямой зуб режет шириной  $h_1$ , рис. 2

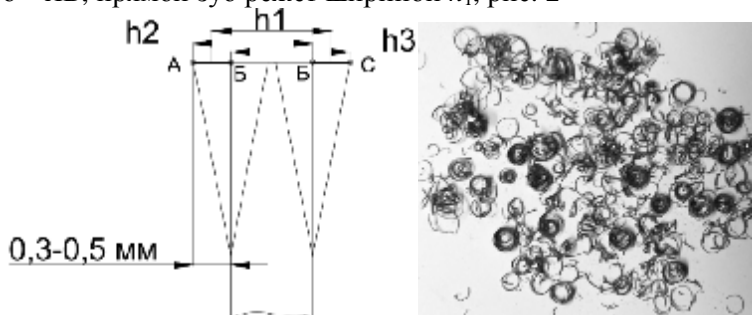
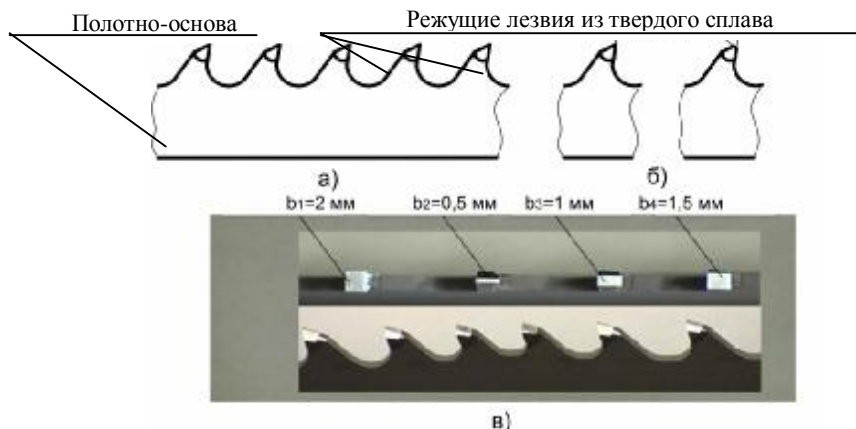


Рисунок 2 – Участки режущих лезвий  $h_1, h_2, h_3$  и стружка

Форма стружки, на оптимальных режимах резания имеет спиралеобразный вид из 2-3 витков серебристого цвета.

Твердосплавная ленточная пила состоит из полотна-основы и зубьев с приваренными твердосплавными элементами, заточенными по групповой схеме резания, рис. 3. Твердость режущих кромок пил 1600 – 1700HV, а при использовании износостойких покрытий – 3800HV.



а) твердосплавная ленточная пила; б) типы передних углов;  
в) типовая схема заточки зубьев

Рисунок 3 – Конструктивные элементы твердосплавной ленточной пилы

Практически все твердосплавные ленточные пилы изготавливают с групповой схемой резания. Зубья затачиваются по боковым поверхностям, образуя главное и два вспомогательных режущих лезвия. Как правило, группа состоит из четырех зубьев, имеющих ширину режущих лезвий от  $b_1$  до  $b_4$ , рис. 3, в.

Общая ширина пропила обеспечивается за счет уширения режущего лезвия последующего зуба в группе по отношению к предыдущему. Последний зуб группы срезает минимальный слой материала шириной 0,1–0,3 мм.

Процесс резания ленточной пилой сопровождается суммой напряжений различного рода, действующих по всей ее длине [5]. Процессу резания ленточными пилами сопутствует сложный комплекс деформационных процессов полотна, обусловленных кинематикой станков.

Полотно пилы и ее зубья в процессе резания испытывают различные напряжения: растягивающие; изгибные на шкивах; крутильные при позиционировании зубьев в зоне резания и при выходе из направляющих; напряжения от сил резания и центробежных сил. Все виды нагрузок совместно с температурными воздействиями определяют в конечном итоге износостойкость ленточных пил.

Для оценки напряженного состояния полотна пилы рассматриваются его зоны с характерными видами нагружений, рис. 4. [4,5].

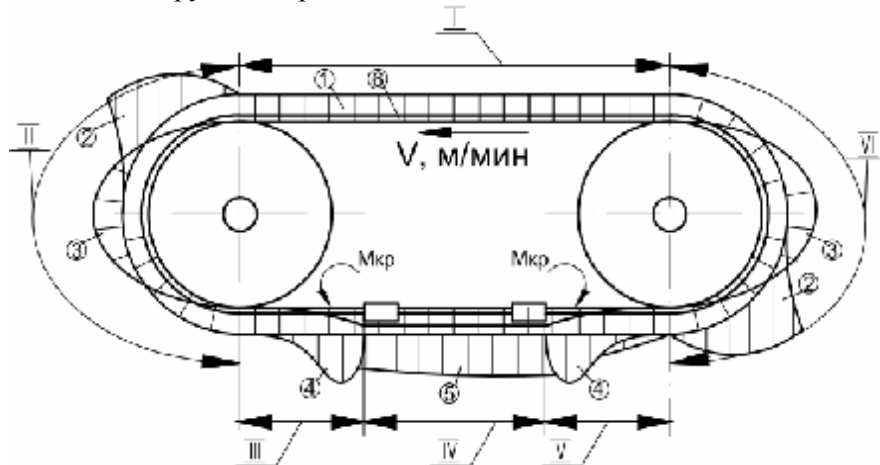


Рисунок 4 – Виды напряжений полотна пилы при резании:

1 – растягивающие; 2 – от тягового усилия; 3 – изгибные; 4 – крутильные;

5 – от сил резания; 6 – от центробежных сил

Сумма нормальных напряжений по всей длине пилы определяется по формуле [2,3]:

$$\sum \sigma = \sigma_H + \sigma_{II} + \sigma_{II} + \sigma_P + \sigma_T + \sigma_{II}$$

где  $\sigma_H$  – напряжения от сил предварительного натяжения;  $\sigma_{II}$  – напряжения от изгиба на шкивах;  $\sigma_{II}$  – напряжения от центробежных сил;  $\sigma_P$  – напряжения от сил резания;  $\sigma_T$  – напряжения от температурного влияния;  $\sigma_{II}$  – прочие напряжения.

Расчетные формулы для определения напряжений, действующих на ленточное полотно в процессе работы, имеют вид:  $\sigma_H = \frac{F_H}{S}$ ;  $\sigma_{II} = \frac{\delta \cdot E}{d}$ ;  $\sigma_{II} = 0,01 \cdot v^2 \cdot \frac{\gamma}{q}$ ;  $\sigma_P = \frac{P_K \cdot z}{S}$ ;

$$\sigma_T = E \cdot \alpha_T \cdot (t_n + t_c); \tau_K = \frac{M_{KP}}{W_K}.$$

где  $F_H$  – сила натяжения ленты;  $S$  – площадь поперечного сечения ленты;  $\delta$  – толщина ленточного полотна;  $E$  – модуль продольной упругости материала ленточного полотна;  $d$  – диаметры шкивов;  $v$  – скорость резания;  $\gamma$  – плотность полотна-основы;  $q$  – ускорение свободного падения;  $P_K$  – касательная составляющая силы резания;  $z$  – количество зубьев в резе;  $S$  – площадь поперечного сечения ленты;  $E$  – модуль продольной упругости материала

ленточного полотна;  $a_T$  – коэффициент линейного расширения полотна-основы;  $t_n$  – температура пилы;  $t_c$  – температура окружающей среды;  $M_{KP}$  – крутящий момент;  $W_K$  – момент сопротивления.

Растягивающие напряжения от сил предварительного натяжения  $\sigma_H = 150 \text{ К} 250 \text{ МПа}$  действуют во всех сечениях ленточного полотна и зависят от их параметров.

Изгибные напряжения  $\sigma_{II}$ , зоны II и VI, наблюдаются при обкатывании полотна пилы по шкивам станка, где оно изгибается по дуге, равной радиусу шкива. Расчетное значение  $\sigma_{II} = 250 \text{ К} 500 \text{ МПа}$ .

Напряжения от центробежных сил  $\sigma_{II} = 5 \text{ К} 10 \text{ МПа}$  действуют во всех сечениях ленточного полотна.

Крутильные напряжения возникают в зонах III и V. Выкручивание ленты происходит дважды перед и после зоны резания. Выкручивание ленты необходимо для переориентации пилы из горизонтальной в вертикальную плоскость. Расчетное значение напряжений составляют 300-500 МПа.

Напряжения от сил резания  $\sigma_P$  возникают в зонах III, IV и V. Расчетное значение напряжений от сил резания составляет 120-200 МПа.

Напряжения от температурного влияния  $\sigma_T$  действуют во всех сечениях ленточного полотна: при обкатывании по шкивам, при прохождении через блоки направляющих, в зоне резания. Расчетное значение напряжений от температурного влияния составляет 30-80 МПа.

Прочие напряжения  $\sigma_{II}$  связаны с неправильной регулировкой шкивов, блоков направляющих и другими неисправностями станка, при которых происходит негативное воздействие на полотно и снижают усталостную прочность ленточной пилы.

На напряженное состояние пил влияет также изменение температур не только в зоне резания, но и при контакте пилы с отдельными узлами станка, что требует специальных исследований.

Для исследования изменения температур на отдельных участках ленточного полотна в процессе пиления была принята схема, учитывающая зоны контакта пилы с заготовкой в процессе резания, контакты пилы со шкивами до и после пиления, зоны между шкивами и направляющими до и после пиления, зона продвижения пилы над шкивами, рис. 5.

Условия экспериментов: биметаллическая ленточная пила WIKUS M42 27x0,9x – 5/8 тpi. Заготовка  $d = 90 \text{ мм}$ ; Ст. 45. Ленточнопильный станок двухколонного исполнения MEBA 260 GP.

Режимы резания приняты согласно рекомендациям производителя биметаллической ленточной пилы WIKUS M42: скорость резания  $V=50 \text{ м/мин}$ ;  $S=20 \text{ мм/мин}$  [1]. Охлаждение – микроспрей марки OEST MEBA SP 36 E.

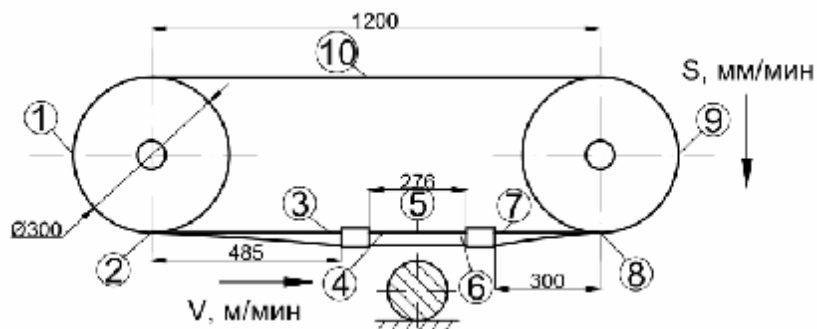


Рисунок 5 – Схема определения температур при пилении

Температуры измерялись пирометром «Нимбус – 420». Замеры температур производились при выключенном станке, при работе на холостом ходу и в процессе резания.

При выключенном станке значение температур для различных зон (1...10, рис.5) составила  $+20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . На холостом ходу произошел общий нагрев ленточного полотна на  $2...3^{\circ}\text{C}$  вследствие трения о подвижные и неподвижные элементы станка: шкивы, ролики, боковые и

верхние твердосплавные направляющие, а также за счет возникающих внутренних напряжений полотна основы. При пилении заготовки изменение температур в рассматриваемых зонах представлены на рис. 6.

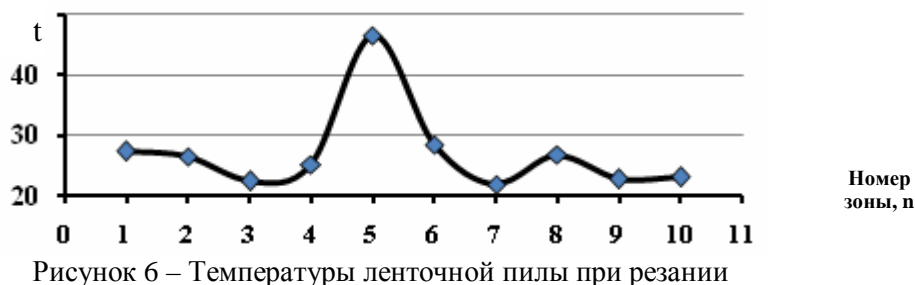


Рисунок 6 – Температуры ленточной пилы при резании

В начале процесса резания, выделившееся тепло передается заготовке, ленточному полотну и окружающей среде, лента в зоне 5 нагревается до  $46,5^{\circ}\text{C}$ . При выходе из зоны резания температура пилы снижается. После прохождения зоны 7 полотно пилы имеет температуру около  $23^{\circ}\text{C}$ , как в зоне 3. В зоне 8 при заходе полотна на шкив - около  $23^{\circ}\text{C}$ , частичное повышение температуры полотна до  $25^{\circ}\text{C}$ . Понижение температуры до  $23^{\circ}\text{C}$  в зонах 9 и 10 связано с отдачей части тепла шкиву и окружающей среде.

Уровень температур в каждой из зон увеличивается по мере углубления пилы в заготовку и с увеличением количества резов. Максимальные температуры наблюдались при нахождении в зоне резания от 17 до 28 зубьев пилы.

В результате сложных деформационных и тепловых нагрузок наблюдаются различные причины выхода пилы из строя: износ и разрушение зубьев пилы, износ или смятие спинки пилы, разрыв полотна, трещины в межзубных канавках, трещины между полотном основы и материалом режущей части и др., рис.7.



а) по шву; б) в межзубной впадине; в) на основе

Рисунок 7 – Виды трещин ленточных пил

Таким образом, результаты исследований могут быть использованы для повышения эффективности технологий ленточного пиления, которые нашли применение на предприятиях Республики Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ленточные пилы, ленточноотрезные станки, оборудование для металлоконструкций [Электронный ресурс]. – Минск, 2005. – Режим доступа: <http://www.vimens.ru>. - Дата доступа: 10.12.2012.
2. Дечко Э.М., Якимович А.М. и др. Некоторые особенности процессов ленточного пиления. Тезисы докладов международной научно-технической конференции. (Минск, 10-11.04.13 «Металлообработка-2013»).
3. Основы ленточного пиления и станки: учебно-методическое пособие для лабораторных работ/ Ю.Р. Маркевич [и др.] ; под ред. Э.М. Дечко, Ю.Р. Маркевича. – Минск: БНТУ, 2014. – 80 с.
4. Кондратюк А.А., Шилько В.К. Оценка напряженного состояния ленточных пил // Известия Томского политехнического университета. - 2004. - Т. 307. - № 2.
5. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки. –М.: Лесная промышленность, 1976.–152 с.