

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ**

Методические указания
к выполнению учебно-исследовательской лабораторной работы
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»

Новополоцк
2017

УДК 621.7(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией факультета машиностроения и автомобильного транспорта в качестве методических указаний (протокол № 12 от 08.12.2016)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

АВТОРЫ:

Н. Н. Попок, А. В. Сидикевич, А. И. Костюченко, Г. И. Гвоздь,
О. В. Яловский

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, проф. каф. технологии и оборудования машиностроительного производства А. И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ;
канд. техн. наук, доц. каф. технологии и оборудования машиностроительного производства А. М. ДОЛГИХ

Цель выполнения работы:

изучить конструктивные элементы и геометрические параметры ленточных пил; исследовать влияние обработки на их изменение.

Оборудование и приборы

1. Станок ленточнопильный консольный полуавтомат модели «PEGAS» 250x315 SHI-LR.
2. Ленточное полотно (в зависимости от задания).
3. Заготовка проката Ø 50...100 мм длиной не менее 250 мм:
 - сталь 45 ГОСТ 1050;
 - сталь 20Х13.
4. Микроскоп ИМЦ 150x50,5 Б ГОСТ 8074.
5. Тиски станочные ГМ-7212П-02 (ГМ-7216П-02).
6. Штангенциркули: ШЦ-1-150-0,05 ГОСТ 166, ШЦЦ-1-200-0,01 ГОСТ 166.
7. Профилограф-профилометр «Абрис ПМ7».
8. Набор образцов шероховатости по ГОСТ 9378-93 «Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия».
9. Твердомер ТР-500В.

Содержание отчета

1. Название, цель и порядок выполнения лабораторной работы.
2. Краткие сведения об особенностях обработки ленточными пилами.
3. Протокол исследования геометрических параметров ленточной пилы и фотография.
4. Выводы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Назначение и область применения станков

Ленточнопильные станки по металлу служат для высокопроизводительного разрезания металлов, используемых в современном машиностроении: цветных, никелевых, титановых и других сплавов, а также высоколегированных и конструкционных сталей. Ленточнопильные станки используются для нарезки в размер труб, фасонного профиля и сплошного проката. Режущим инструментом ленточнопильного отрезного станка является ленточная пила, сваренная в кольцо и натянутая на шкивах.

Типы, материалы ленточных пил

ГОСТ Р 53924-2010 «Полотна ленточных пил. Типы и основные размеры» предусматривает изготовление ленточных пил в следующих исполнениях:

- 1 – полотна из инструментальной легированной стали по ГОСТ 5950;
- 2 – полотна биметаллические (материал режущей части – быстрорежущая сталь по ГОСТ 19265);
- 3 – полотна из инструментальной легированной стали с зубьями, оснащенные твердым сплавом по ГОСТ 3882;
- 4 – полотна для фрикционной резки (под действием возникающего при трении нагрева) из стали, стойкой к усталости.

Основные размеры полотен исполнения 1 должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 1

Основные размеры полотен исполнения 1, мм

Ширина	3	5	6	8	10	13	16	20	25
Толщина	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,80	0,80	0,90

Основные размеры полотен исполнения 2 должны соответствовать указанным в таблице 2.

Таблица 2

Основные размеры полотен исполнения 2, мм

Ширина	6	10	13	20	27	34	41	54	67	80	
Толщина	0,90	0,90	0,65	0,90	0,90	0,90	1,10	1,30	1,30	1,60	1,60

Основные размеры полотен исполнения 3 должны соответствовать указанным в таблице 3.

Таблица 3

Основные размеры полотен исполнения 3, мм

Ширина	20	27	34	41	54	67	80
Толщина	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	1,6	1,6

Основные размеры полотен исполнения 4 должны соответствовать указанным в таблице 4.

Таблица 4

Основные размеры полотен исполнения 4, мм

Ширина	16	20	25	32
Толщина	0,8	0,8	0,9	1,1

Пример условного обозначения полотна ленточной пилы исполнения 1, шириной 16 мм, толщиной 0,8 мм, имеющего три зуба на единицу длины:

Ленточное полотно 1-16-0,8-3 ГОСТ Р 53924-2010.

Длина полотен ленточных пил определяется в соответствии с типом используемого станка и указывается при заказе. Шаг и число зубьев на единицу длины приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Постоянный шаг

Шаг, мм	1,00	1,40	1,80	2,50	3,15	4,00	6,30	8,00	12,50	20,30	33,90
Число зубьев на 25,4 мм длины	24,00	18,00	14,00	10,00	8,00	6,00	4,00	3,00	2,00	1,25	0,75

Таблица 6

Переменный шаг

Шаг, мм	34,0–20,0	17,0–13,0	12,0–8,0	8,0–6,0	6,3–4,0
Число зубьев на 25,4 мм длины	0,75–1,25	1,50–2,00	2,00–3,00	3,00–4,00	4,00–6,00

Окончание табл. 6

Шаг, мм	5,0–3,0	4,0–2,5	3,15–2,0	2,5–1,8
Число зубьев на 25,4 мм длины	5,00–8,00	6,00–10,00	8,00–12,00	10,00–14,00

Твердость полотен ленточных пил должна быть не менее указанной в таблице 7.

Таблица 7

Твердость полотен ленточных пил

Исполнение полотна	Твердость	
	Режущая часть	Тело полотна
1	62 HRC (720HV10)	27 HRC (280HV10)
2	62 HRC (720HV10)	45 HRC (450HV10)
3	–	45 HRC (450HV10)

Первичным назначением ленточных пил для фрикционной резки является создание необходимого тепла для поддержания горения в области реза. Пилы работают на скоростях свыше 40 м/с на станках с соответствующим ограждением.

По классификации ISO для ленточных пил применяют следующие виды материалов: инструментальные стали, быстрорежущие стали, твердый сплав, искусственные алмазы.

Ленточные пилы из инструментальной стали

Пилы изготавливаются из цельной полосы высококачественной легированной и закаленной углеродистой инструментальной стали. Закаленная режущая кромка и гибкая лента-основа обеспечивают высокое качество полотен. Твердость режущих кромок зубьев достигает 61...62 HRC. Пилы применяются в основном для пиления нелегированных сталей с низким пределом прочности, раскроя композиционных материалов и фрикционного пиления на специальных станках. Эти пилы наиболее часто используются для ремонтных работ.

В зависимости от марки и состава быстрорежущей стали биметаллические пилы известных производителей делятся на два основных типа: М42 и М51.

Биметаллические ленточные пилы М42 (аналог 45ХГНМФА)

Полотно-основа этих ленточных пил изготавливается из упругой рессорно-пружинной стали. К полотну-основе методом электроннолучевой сварки приваривается профильная проволока из быстрорежущей стали (HSS) и фрезеруется профиль зубьев пилы с последующей их разводкой. После термообработки режущие кромки зубьев пилы имеют твердость 67... 69 HRC и обладают высокой износо- и красностойкостью. Это позволяет успешно использовать биметаллические пилы для обработки до 90% сталей различных марок и сплавов, применяемых в промышленности.

Биметаллические ленточные пилы М51 (аналог 12Р10М4К10)

Более высокое содержание вольфрама увеличивает количество карбидов и повышает сопротивление абразивному износу, а высокое содержание кобальта увеличивает красностойкость режущей кромки до 620... 645 ОС. Это позволяет применять данный инструмент для порезки высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей, в т.ч. и заготовок большого поперечного сечения и твердостью до 45 HRC. Твердость режущей кромки 67...69 HRC. Стойкость такого ленточного полотна на 10–20% выше, чем у пил с режущей кромкой из М42. Пружинное полотно основы обеспечивает необходимую жесткость для точного пиления. Полотно из легированной пружинной стали после закалки и отпуска имеет высокие прочностные характеристики, позволяющие пиле выдерживать многоцикловые знакопеременные нагрузки.

Ленточные пилы с напайной режущей частью из твердого сплава

Данный инструмент рекомендуется применять для высокопроизводительного пиления труднообрабатываемых, жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, титана, никеля и т.п. твердостью до 62 HRC. Гео-

метрия зубьев, полученная специальным шлифованием и имеющих твердость режущих кромок до 1600...3800 HV, обеспечивают возможность пиления различных марок сталей и их сплавов. Такие пилы изготавливаются двух типов: с твердосплавными напайными пластинами и с твердосплавной крошкой (сплошной или прерывистой).

Алмазные ленточные пилы

Алмаз является самым твердым материалом в природе (твердость до 9000 HV), поэтому он в состоянии пилить практически любые материалы, металлы и сплавы: алюминий с вкраплением твердых частиц, закаленные и хромированные стали, твердые сплавы, феррадо, закаленное стекло, мрамор, гранит, кварц, графит и т.д. Ленточные пилы с прерывистым алмазным покрытием предназначены для пиления высокопрочных материалов и заготовок большого размера. Рекомендуемые скорости пиления до 1200 м/мин, в зависимости от материала. Ленточные пилы с прерывистым алмазным покрытием могут использоваться для обработки алюминия с вкраплениями частиц спеченного гранита, мрамора / гранита, моно- и поликристаллического кремния, кварца, а также применяться для обработки следующих групп материалов: абразивные строительные материалы, стекло, стекловолокно, мрамор.

Конструктивные элементы и геометрические параметры

Элементы полотна:

- *полотно ленточной пилы* – бесконечное полотно из полосовой стали, имеющее зубья на одной стороне;
- *верхняя сторона (спинка) полотна* – сторона, противоположная зубчатой части полотна (рис. 1, поз. 1);
- *зубья* – зубья, нарезанные по толщине полотна ленточной пилы и образующие режущие кромки (рис. 1, поз. 2);
- *зубчатая часть полотна* – сторона, вдоль которой нарезаны зубья (рис. 1, поз. 3);
- *тело полотна* – часть полотна, расположенная между впадинами зубьев и верхней стороной (спинкой) полотна (рис. 1, поз. 4);
- *боковая сторона полотна* – плоская поверхность, расположенная между зубчатой частью и верхней стороной полотна (рис. 1, поз. 5);
- *ширина полотна* – расстояние от вершины зуба до верхней стороны полотна (рис. 2, поз. 1);
- *толщина полотна* – расстояние между двумя боковыми сторонами тела полотна (рис. 3, поз. 1);

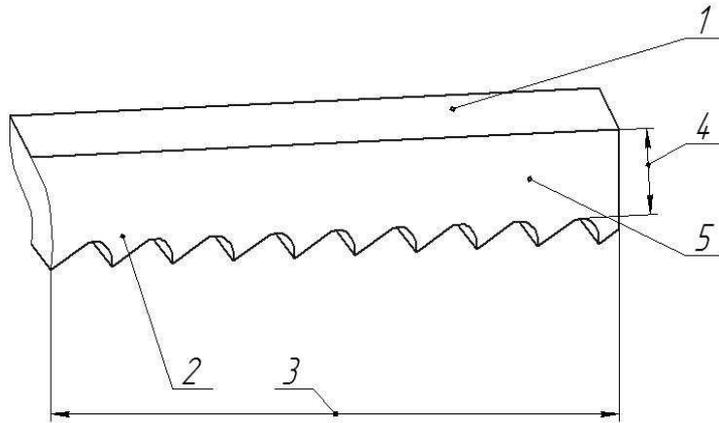


Рис. 1. Элементы полотна пилы

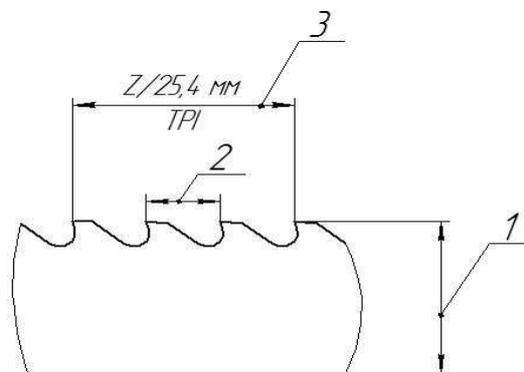


Рис. 2. Шаг и число зубьев на единицу длины

Характеристики зубьев:

- *шаг* – расстояние между вершинами соседних зубьев (см. рис. 2, поз. 2);
- *число зубьев на единицу длины* – число полных зубьев на 25,4 мм длины зубчатой части полотна (см. рис. 2, поз. 3).

Переменный шаг-цикл последовательности групп зубьев с разными шагами обозначается самым большим и самым малым шагами, выраженными числом зубьев на единицу длины.

Пример

Переменный шаг 6/10: наибольший шаг соответствует шести зубьям, наименьший – десяти зубьям на 25,4 мм длины зубчатой части полотна.

- *разводка зубьев* – выступ зубьев с боковых сторон полотна, обеспечивающий зазор для резания (рис. 3, поз. 2);
- *общая разводка* – общая толщина полотна между двумя разведенными смежными зубьями, определяющая ширину резания (рис. 3, поз. 3);

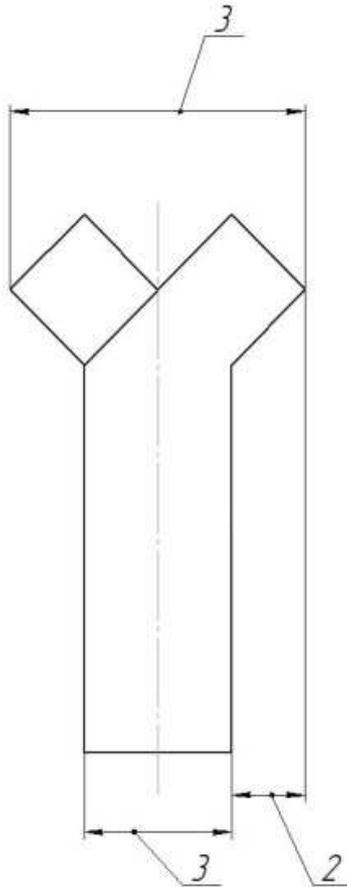


Рис. 3. Разводка зубьев и общая разводка

- *режущая кромка* – кромка, образованная пересечением передней и задней поверхностей зуба и предназначенная для снятия материала (рис. 4, поз.1);
- *высота зуба* – расстояние от вершины зуба до самой глубокой части впадины между зубьями пилы (рис. 4, поз. 2);
- *передняя поверхность зуба* – поверхность, по которой сходит стружка (рис. 4, поз. 3);

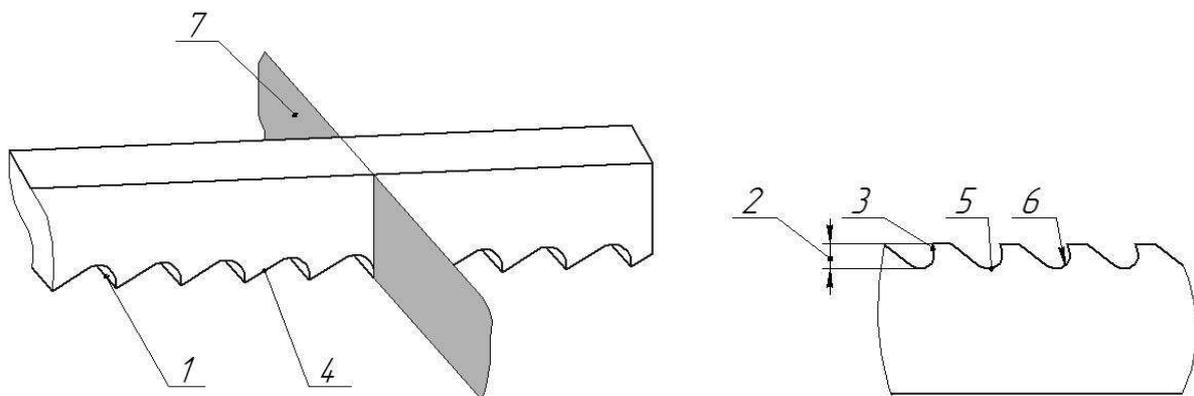


Рис. 4. Элементы геометрии зуба

- *передний угол* γ – угол между передней поверхностью и основной плоскостью (рис. 5);
- *угол заострения* β – угол между передней и задней поверхностями зуба (рис. 5);
- *задний угол* α – угол между задней поверхностью и плоскостью резания;
- *угол в основной плоскости* φ – угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

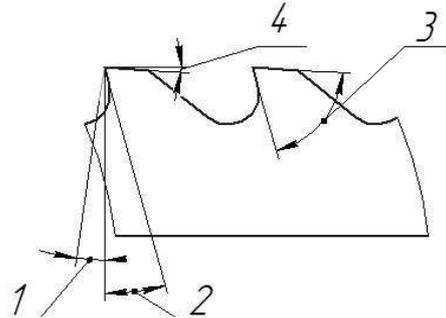


Рис. 5. Углы режущего лезвия:

- 1 – отрицательный передний угол γ ; 2 – положительный передний угол γ ;
- 3 – угол заострения β ; 4 – задний угол α

Формы зубьев:

- *нормальная или стандартная форма* – зубья, имеющие нулевой передний угол и впадины полного радиуса (рис. 6).

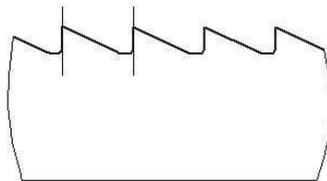


Рис. 6. Нормальная или стандартная форма зубьев

Эта форма может иметь разводку зубьев: два смежных разведенных или через один неразведенный, или волнообразную, или групповую;

- *с пропуском зуба* – зубья нормальной формы с пропуском одного зуба из двух соседних (рис. 7);

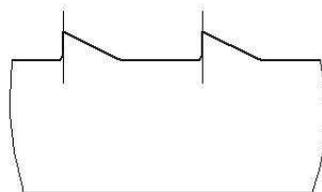


Рис. 7. Форма с пропуском зуба

– с положительным передним углом – зубья нормальной формы и с положительным передним углом (рис. 8);

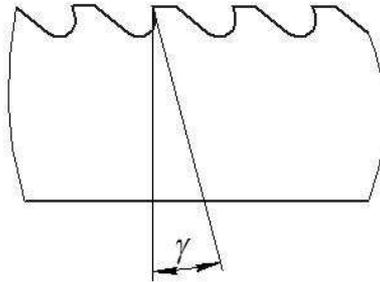


Рис. 8. Форма с положительным передним углом

– с пропуском зуба и положительным передним углом – зубья формы с пропуском зуба и с положительным передним углом (рис. 9);

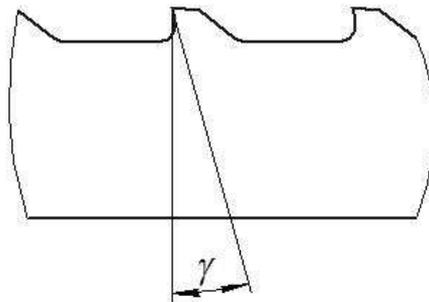


Рис. 9. Форма с пропуском зуба и положительным передним углом

– с переменным шагом зубьев – зубья нормальной формы или с положительным передним углом с последовательностью зубьев с разными шагами (рис. 10).

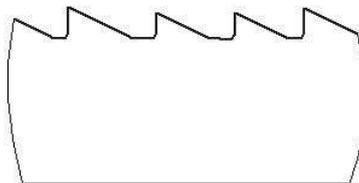


Рис. 10. Форма с переменным шагом зубьев

Типы разводки зубьев:

– стандартная разводка – поперечная разводка каждого зуба попеременно вправо и влево (рис. 11). Стандартная разводка не применяется для полотен, предназначенных для работ по черным металлам;

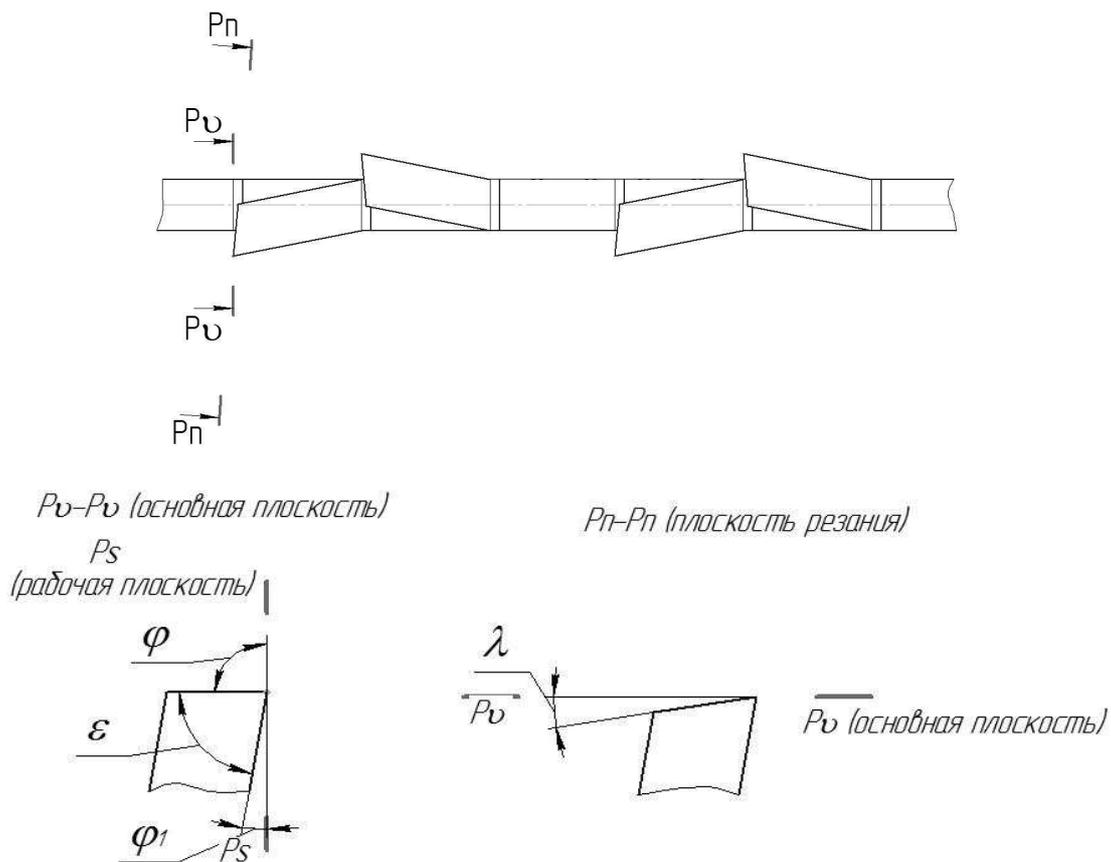


Рис. 11. Стандартная разводка зубьев

– *разводка двух смежных зубьев через один неразведенный* – разводка одного зуба вправо, одного влево, одного без разводки (рис. 12);



Рис. 12. Разводка двух смежных зубьев через один неразведенный

– *волнообразная разводка* – поперечная разводка групп зубьев с регулярной переменной направления разводки вправо и влево (рис. 13);



Рис. 13. Волнообразная разводка

– *групповая разводка* – поперечная разводка нескольких зубьев попеременно вправо и влево, за ними один как минимум неразведенный (рис. 14).



Рис. 14. Групповая разводка

Общая разводка зубьев ленточных пил всех исполнений – по усмотрению изготовителя. Разводка зубьев с боковых сторон полотна должна быть равной. Предельные отклонения разводки – $\pm 0,05$ мм. Допуск прямолинейности боковых сторон полотна в поперечном направлении по всей ширине неразведенной части должен быть не более 2 мкм/мм.

Технология резания ленточными пилами и критерии ее оценки

Технология ленточного пиления по праву считается одной из самых эффективных, экономичных и точных из всех существующих способов резания металлов. При этом стоит учесть, что современные ленточные пилы могут делать рез, не требующий последующей обработки.

На практике процесс резания ленточной пилой оценивается на основе режимов резания. Основные факторы – время резания и качество отрезаемых заготовок. Можно выделить следующие критерии процесса резания:

– пропиленная поверхность за единицу времени. Зависит от режущей способности пилы, материала заготовки, а также от подачи пильной рамы станка, различных установочных параметров;

– параметры стойкости ленточной пилы. Выбор стойкости как критерий использования ленточной пилы описывается среди прочего ее износом;

– увод пилы. В качестве увода пилы во время процесса пиления обозначается отклонение полотна пилы и вызванное этим изменение размеров поверхности резания у рабочей детали по сравнению с заданными идеальными размерами плоскости резания, обусловленными кинематикой ленточнопильного станка;

– структура наружной поверхности пропиленной плоскости.

Для оценки процесса резания могут быть также использованы появляющаяся волнистость или следы вибрации на поверхности резания. Кроме того, на всех поверхностях, полученных при пилении пилами с определенной разводкой зубьев, можно наблюдать отражение контура детали. По оценкам различных источников отклонение от перпендикулярности при резке относительно оси заготовки может быть 0,0,05 мм на 100 мм длины, шероховатость поверхности может достигать по параметру Ra 25...50 мкм.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Ознакомиться с классификацией ленточной пил, их применением и особенностями.
2. На инструментальном микроскопе замерить исходные геометрические параметры заготовки и ленточной пилы, заполнить протокол, представленный в приложении.
3. Провести эксперимент с обработкой разрезанием на полуавтомате ленточнопильном гидравлическом модели «PEGAS» 250x315 SHI-LR.
4. Замерить контролируемые геометрические параметры готовой детали и ленточной пилы после обработки, заполнить протокол, представленный в приложении.

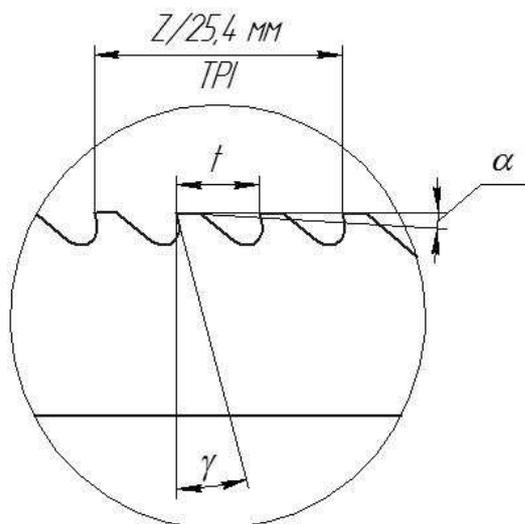


Рис. 15. Пример измерения исходных геометрических параметров на инструментальном микроскопе ИМЦ

Контрольные вопросы

1. Ленточнопильные технологии, их особенности и применение
2. Типы, материалы ленточных пил
3. Конструктивные и геометрические параметры ленточных пил
4. Особенности формы зуба ленточной пилы

Литература

1. Полотна ленточных пил. Типы и основные размеры : ГОСТ Р 53924-2010.
2. Ленточные пилы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vimens.ru/index.pl?act=SECTION§ion=lentochnye+pily>. – Дата доступа: 1.03.2017.
3. Ленточнопильные станки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stankopark.by/catalog/lentochnopilnyie-stanki.html>. – Дата доступа: 1.03.2017.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Протокол Конструктивные параметры и геометрические параметры ленточных пил

Тип полотна –
Основные размеры полотна: ширина, толщина, длина –
Материал полотна –
Твердость полотна –

Исходные параметры заготовки		
Материал заготовки	Габаритные размеры сечения заготовки, мм	Твердость заготовки
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>

Эскиз зуба ленточной пилы	Исходные геометрические параметры ленточной пилы							
	Характеристика зубьев		Геометрические параметры зуба				Тип разводки зубьев	Форма зуба
	Шаг зубьев	Число зубьев на единицу длины	Передний угол γ	Задний угол α	Угол заострения β	Угол резания δ		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>

Режимы резания:
глубина резания t , мм, –
подача S , мм/мин, –
скорость v , м/мин, –

Квалитет точности заданного исходного размера	Шероховатость обработанной поверхности R_z , мкм	Допуск формы	
		Толщина заготовки на входе пилы, мм	Толщина заготовки на выходе пилы, мм
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>

Эскиз зуба ленточной пилы	Контролируемые геометрические параметры ленточной пилы			
	Геометрические параметры зуба			
	передний угол γ	задний угол α	угол заострения β	угол резания δ
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>