

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ

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

Новополоцк  
2017

УДК 621.9.02(075.8)  
ББК 34.5-5я73

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией  
машиностроительного факультета в качестве методических указаний  
(выписка из протокола № 9 от 02.09.2016)

Кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства»

Авторы:

д-р техн. наук, проф., зав. кафедры технологии и оборудования машино-  
строительного производства Н. Н. ПОПОК;  
ст. преподаватель А. В. СИДИКЕВИЧ;  
ст. преподаватель А. И. КОСТЮЧЕНКО;  
ассистент Г. И. ГВОЗДЬ

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. В. И. АБРАМОВ;  
канд. техн. наук, доц. А. М. ДОЛГИХ

## **Лабораторная работа** **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ** **НА ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ**

**Цель работы** – изучить и исследовать процесс резания на ленточно-пильном станке, в частности, освоить принципы расчета режимов резания, научиться определять вид стружки, силу резания и установить влияние на них элементов режима резания.

### **1 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Ознакомиться с элементами режима резания на ленточнопильном станке и порядке их назначения.

2. Провести серию экспериментов по определению фактического значения скорости движения подачи и рассчитать подачу на зуб ленточной пилы.

3. Исследовать виды стружек. Провести три серии опытов с изменением одного из параметров режима резания и конструктивного параметра пилы, определить вид стружки, получаемой в каждой серии опытов. Сделать выводы о выборе режимов резания и конструктивных параметров ленточной пилы исходя из вида полученной стружки, определить диапазон рациональных подач.

4. Изучить схему действия сил резания на ленточную пилу. Экспериментальным путем определить фактические действующие усилие резания через определение потребляемой мощности ленточнопильного станка в трех сериях опытов. Построить графики зависимости главной составляющей силы резания от изменения параметров режима резания.

### **2 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 20X13 ГОСТ 5949.

### 3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В современных заготовительных производствах около 80% заготовок нарезают при помощи ленточнопильных технологий, которые относятся к высокотехнологичным, высокопроизводительным энерго- и ресурсосберегающим процессам. Ленточнопильные технологии позволяют резать заготовки в широком диапазоне размеров их сечений – от листов толщиной 0,5 мм до проката толщиной 1,5 м. Отрезка заготовок на станках осуществляется ленточной пилой, устанавливаемой на двух дисках, один из которых приводной, а другой натяжной. Ленточная пила позволяет обеспечить минимальные отходы металла (ширина реза 0,6...2 мм), при этом достигается высокая производительность процесса и малый расход энергии. Зубья ленточной пилы участвуют в процессе резания только во время контакта с обрабатываемым материалом по линии реза. Следовательно, распиловка ленточной пилой – один из наиболее эффективных способов резания с точки зрения распределения теплоты и усилия.

Шероховатость поверхности при отрезании на ленточнопильных станках соответствует  $R_z = 40...80$  мкм, а отсутствие заусенцев и высокая точность реза позволяют исключить технологическую операцию дополнительного торцевания и сократить припуски до минимума.

Для ленточных пил применяют следующие виды материалов: инструментальные стали, быстрорежущие стали, твердый сплав, искусственные алмазы. Возможность использования специальных пил, оснащенных твердым сплавом или алмазной кромкой, позволяет резать стальные блоки, сортовой прокат, труднообрабатываемые стали, сплавы на основе никеля и титана, цветные металлы и их сплавы, гранит, бетон и другие материалы различных форм и размеров. Процесс резания прост в реализации и его легко автоматизировать.

К основным конструктивным и геометрическим параметрам ленточной пилы относятся:

- ширина и толщина ленточного полотна;
- форма и шаг зубьев;
- разводка зубьев (вправо, влево);
- количество зубьев на один дюйм;
- радиус основания канавки;
- расстояние от вершины зуба до дна впадины канавки;
- передний и задний углы режущего зуба.

Шаг зубьев пилы – важный фактор, оказывающий влияние на процесс обработки. Он выбирается исходя из объема впадины, который должен быть достаточным для размещения в ней срезаемой стружки и в то же время обеспечивать требуемую по условиям шероховатости поверхности и прямолинейности реза подачу на зуб  $S_z$ . При выборе шага учитываются следующие рекомендации:

- при обработке тонкостенных деталей, например, труб, листов и т.п., рекомендуются пилы с мелким шагом зубьев, в противном случае существует риск повреждения или разрушения зуба;

- большие поперечные сечения заготовок следует резать пилой с крупным шагом, т.е. с меньшим числом зубьев;

- чем меньше зубьев вовлечено в обрабатываемую заготовку, тем выше режущая способность. Дело в том, что проникающая способность каждого отдельного зуба выше, если давление подачи пилы распределяется на меньшее число зубьев;

- крупный шаг увеличивает производительность и обеспечивает большую стружечную канавку;

- при обработке мягких материалов, например, алюминия и бронзы, рекомендуется применение пил с большими стружечными канавками;

- крупный шаг предотвращает образование и скопление стружек в углублениях между зубьями пилы, что может ухудшить распиловку и повредить полотно;

- при обработке в заготовке должно находиться не менее 3 зубьев; оптимальное количество зубьев в заготовке – 10...12; максимальное количество зубьев – 22.

Существующие станки и ленточные пилы обеспечивают различные потребности резки: контурное пиление, отрезка под углами, резка пакетов заготовок различного профиля. Площади поперечного сечения могут достигать более  $1 \text{ м}^2$ , при этом ленточное пиление обеспечивает минимальное отклонение реза от перпендикулярности.

#### **4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ**

Пиление ленточной пилой основано на принципиальной кинематической схеме, предусматривающей главное движение резания  $v_r$  и движение подачи  $v_s$  (рис. 1).

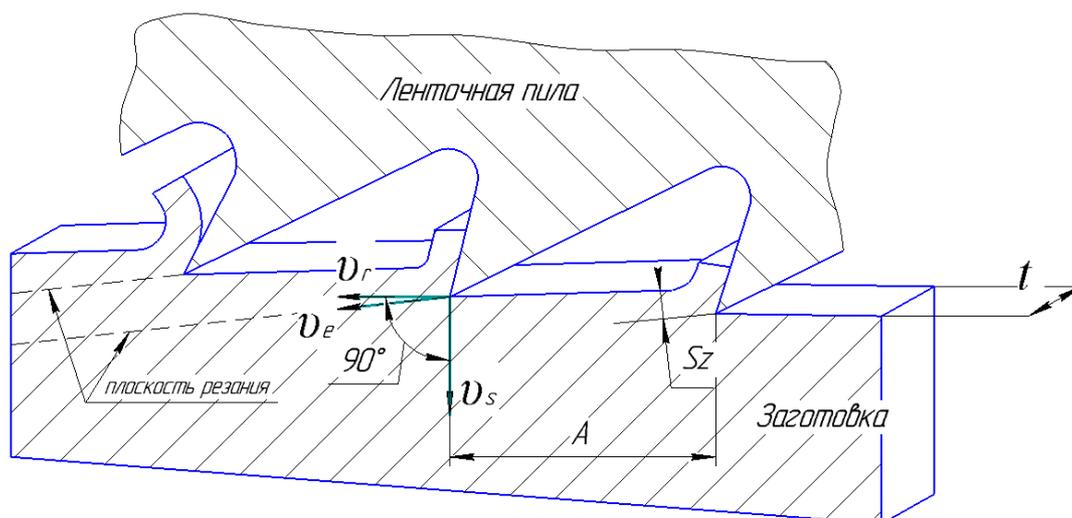


Рисунок 1. – Схема резания ленточной пилой

Рассмотрим определения основных элементов режима резания.

**Результирующая скорость резания  $v_e$**  (м/мин) – это скорость движения пилы с учетом скоростей главного движения резания и движения подачи.

**Скорость главного движения резания  $v_r$**  (м/мин) – это скорость режущего лезвия инструмента относительно заготовки в направлении главного движения в единицу времени. В ленточном пилении скорость главного движения резания – скорость продольного или вращательного движения полотна пилы:

$$v_r = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{z A n}{1000} = \frac{L \cdot k \cdot 60}{T_{рез}} \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр шкива ленточнопильного станка, а для фрезерования и пиления дисковыми пилами – диаметр окружности, проходящий через вершины зубьев, мм;

$A$  – шаг зубьев пилы, т.е. расстояние между смежными главными режущими кромками (лезвиями) по окружности резания или окружности шкива ленточнопильного станка, мм;

$z$  – число зубьев, врезающихся на один оборот шкива:

$$z = \frac{\pi D}{A};$$

$n$  – число оборотов шкива, фрезы, диска пилы,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$L$  – длина полотна пилы, мм;

$k$  – количество оборотов метки за время  $T_{рез}$ , с.

Скорость главного движения резания зависит от твердости, формы и площади поперечного сечения заготовки. Чем выше прочность материала заготовки, тем более низкая скорость резания должна быть выбрана. Заготовки с меньшей площадью поперечного сечения могут отрезаться с большей скоростью, чем заготовки с большим сечением. Трубы и профили отрезаются с низкой скоростью резания, при этом очень существенное значение имеет постоянство подачи. При возникновении вибраций необходимо изменить скорость резания на минимально возможную величину.

Скорость главного движения резания назначают по соответствующим нормативным таблицам в зависимости от материала заготовки (согласно рекомендациям фирмы-производителя ленточного полотна), а также в зависимости от габаритов заготовки (пакета заготовок) и типа применяемого оборудования.

**Скорость движения подачи  $v_s$**  – скоростью перемещения (опускания) пильной рамы, мм/мин.

Фактическая подача рассчитывается следующим образом:

$$v_s = \frac{D(h)}{T_{рез}}, \quad (2)$$

где  $D(h)$  – диаметр (высота) пропила, мм;

$T_{рез}$  – время резания одной заготовки (пакета заготовок), мин.

$$T_{рез} = \frac{P}{Q}, \quad (3)$$

здесь  $P$  – площадь поперечного сечения заготовки (пакета заготовок), мм<sup>2</sup>.

Для круглого сечения вычисляется по формуле  $P = \pi d^2 / 4$ ;

$Q$  – производительность процесса пиления, мм<sup>2</sup>/мин. Это площадь поверхности заготовки, разрезанной пилой за одну минуту.

Производительность зависит от материала, формы и габаритов заготовок, типа пилы, оборудования, режимов резания. Фактическая производительность может быть выбрана по таблицам.

При выборе величины подачи ориентируются на следующие рекомендации:

– с уменьшением коэффициента обрабатываемости материала уменьшается подача;

– режущая кромка зуба должна соотноситься со скоростью подачи пилы: если зуб из углеродистой стали, то принимается наименьшая подача, из твердого сплава – наибольшая подача;

- вибрации и шум при резании разрушают режущую кромку. Если они возникают, следует увеличить подачу;
- если пиление выполняется без смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), то подачу следует уменьшить на 50...75%;
- для устранения наклепа необходимо уменьшить подачу или увеличить скорость, а также увеличить подачу СОЖ в зону резания.

Дополнительным параметром, характеризующим процесс резания, является подача на зуб  $S_Z$ , мм/зуб:

$$S_Z = \frac{A \cdot v_s}{v_r}, \quad (4)$$

**Глубина резания  $t$**  – это размер снимаемого слоя, измеренный по нормали к рабочей плоскости, по существу, это ширина пропила, мм.

#### **Порядок проведения первого эксперимента.**

На станок устанавливается ленточная пила. Обрабатывается заготовка – прокат  $\varnothing 50...100$  мм, сталь 45 либо сталь 20Х13.

Первая серия опытов проводится при скорости главного движения резания  $v_r = 35$  м/мин, с применением СОЖ, предварительно приработанной пилой. Лимб переключения скорости движения подачи устанавливается в 4 различные положения. Секундомером замеряется время одного реза при каждом из 4-х значений положения лимба.

Вторая серия опытов проводится точно так же, но при скорости главного движения  $v_r = 70$  м/мин. По вышеприведенным формулам (2), (4) рассчитываются значения фактические значения скорости движения подачи и подача на зуб пилы  $S_Z$ .

Заполняется протокол № 1 «Измерение подачи на зуб» (прил.).

## **5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДА СТРУЖКИ**

При выборе величины подачи ориентировочно можно воспользоваться видом формы образующейся стружки, изменяющейся при увеличении подачи (рис. 2).

На рисунке 2, *а* показана очень тонкая и мелкая стружка, указывающая на то, что зуб не успевает врезаться и поэтому стружка не получается завитой. В этом случае следует постепенно увеличивать подачу консоли или уменьшить скорость ленточной пилы до образования формы стружки, которая продемонстрирована на рисунке 2, *в*.

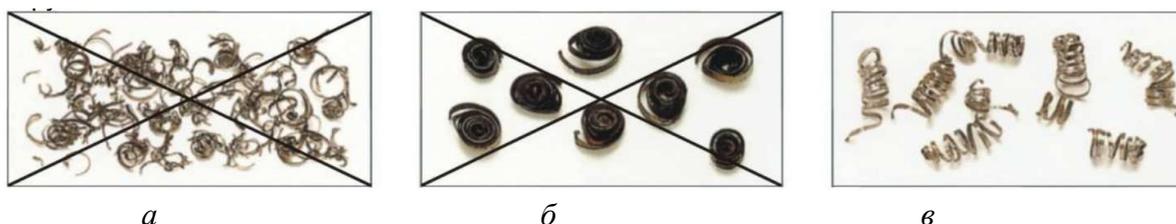


Рисунок 2. – Виды стружек в зависимости от параметров режимов резания

На рисунке 2, *б* – толстая или крупная стружка голубого цвета указывает, что ленточная пила перегружена, т.е. зуб врезается слишком глубоко, тем самым значительно увеличивается нагрузка на режущие зубья и снижается ресурс ленточной пилы. Работа в таком режиме может привести к скалыванию нескольких зубьев, а если это произошло, то через некоторое время все остальные зубья также придут в негодность из-за возникших ударных нагрузок в зоне, где выкрошились зубья. Следует уменьшить подачу консоли или увеличить скорость ленточной пилы до образования формы стружки, которая показана на рисунке 2, *в*. В этом случае образуется стружка короткая спиралевидная, средней толщины, имеющая светлый металлический цвет, что указывает на правильные параметры резки.

Отличительной особенностью процесса обработки на ленточнопильных станках является тонкий слой стружки, удаляемый каждым зубом пилы. Экспериментальные исследования показывают, что величина подачи на зуб, при обработке конструкционных сталей, должна лежать в пределах интервала от 0,007 до 0,0085 мм/зуб, тогда образуется тонкая, вьющаяся и упругая стружка. При меньших подачах процесс резания затрудняется, стружка становится тонкой и порошкообразной, вместо резания начинает происходить процесс пластического деформирования. При увеличении  $S_z$  стружка толстая, появляются цвета побежалости.

#### **Порядок проведения второго эксперимента.**

Проводится серия опытов с последовательным изменением одного из параметров режима резания: скорости движения подачи и скорости главного движения резания, а также конструктивного параметра инструмента – шага зубьев пилы. Визуально определяется вид стружки, получаемый при каждой серии опытов. Заполняется протокол № 2 «Исследование формы стружки» (см. прил.). Обосновывается вывод о выборе режимов резания и конструктивных параметров ленточных пил исходя из вида стружки. Определяется диапазон рациональных подач.

## 6 ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

При внедрении в материал режущего инструмента на каждый зуб фрезы, находящийся в пределах угла контакта, действует своя сила сопротивления срезаемого слоя. На переднюю и заднюю поверхности режущего лезвия действуют нормальные силы  $N_1, N_2$  и силы трения  $F_1, F_2$  (рис. 3).

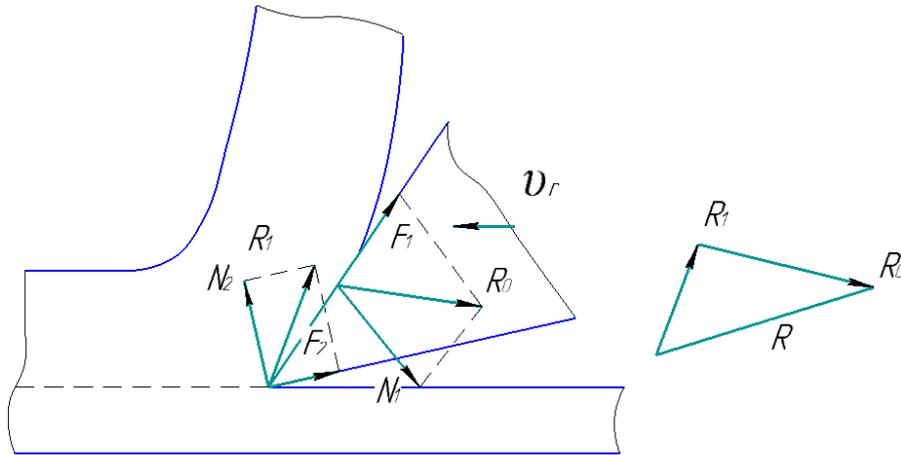


Рисунок 3. – Схема действия сил, действующих на режущий клин

Считая клин абсолютно жестким телом, можно после сложения всех сил получить общую равнодействующую силу  $R$ , являющуюся силой сопротивления резанию. Учитывая сложности определения нормальных сил и сил трения, для удобства расчета технологических параметров процесса

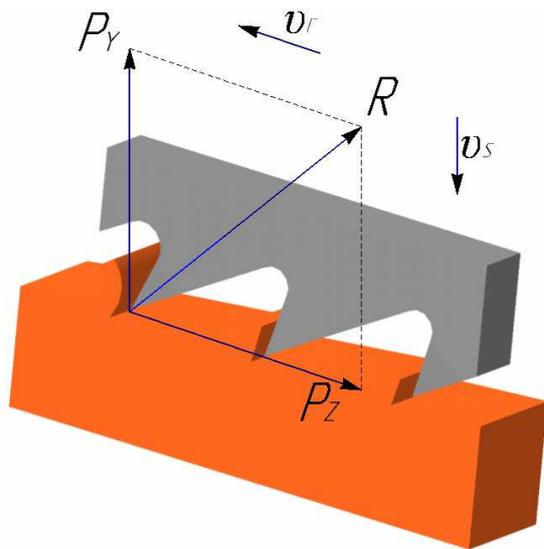


Рисунок 4. – Разложение равнодействующей силы  $R$  на составляющие

резания силу  $R$  раскладывают в трехосной системе координат  $X-Y-Z$  на две составляющие (рис. 4):

- $P_z$  – тангенциальная или главная составляющая силы резания. Действует на режущий клин в направлении главного движения ( $D_r$ ) по касательной к поверхности резания заготовки;

- $P_y$  – радиальная составляющая силы резания. Направлена вдоль движения подачи, стремится оттолкнуть инструмент от заготовки и изогнуть его в вертикальном направлении.

Наиболее важной из перечисленных сил является главная составляющая силы резания  $P_Z$ . Она влияет на мощность, необходимую для осуществления процесса резания. Величина ее зависит от ряда факторов: ширины и толщины среза, свойств обрабатываемого материала, глубины резания и подачи, износа инструмента. Главная составляющая силы резания  $P_Z$  при заданных режимах обработки определяется только экспериментально косвенным методом.

Станок «PEGAS» 250×315 SHI-LR оснащен асинхронным трехфазным электродвигателем переменного тока. Основной величиной при расчетах является средняя, или активная, мощность (Вт). Ее рассчитывают по формуле

$$N = I_{\phi} \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi, \quad (5)$$

где  $I_{\phi}$  – фазное значение тока, А;

$U_{\phi}$  – фазное значение напряжения, В;

$\varphi$  – угол сдвига фаз между током и напряжением.

При равномерной нагрузке трехфазной системы мощность, потребляемая каждой фазой, одинакова, поэтому мощность всех трех фаз:

$$N = 3 \cdot I_{\phi} \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi. \quad (6)$$

Активную мощность трехфазного переменного тока при соединении звездой и треугольником определяют по формуле

$$N = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot U_L \cdot \cos \varphi. \quad (7)$$

Поскольку фазы потребителя или генератора при таком соединении подключаются непосредственно к линейным проводам, фазные напряжения их равны линейным, т. е.  $U_{\phi} = U_L$ , а линейные токи по абсолютной величине больше фазных в 1,73 раза при одинаковой нагрузке фаз.

### **Порядок проведения третьего эксперимента.**

На станок устанавливается ленточная пила. Обрабатывается заготовка – прокат  $\varnothing 50 \dots 100$  мм, сталь 45 либо сталь 20X13.

Проводится три серии опытов: с изменением величины скорости движения подачи, с изменением величины скорости главного движения и с изменением шага зубьев пильного полотна.

Усилия резания определяются косвенно по показаниям цифрового амперметра клещевого типа. В каждой серии замеряется сила тока  $I$ .

Определяется мощность, потребляемая станком, по формуле (7) и рассчитывается главная составляющая силы резания  $P_Z = N/v_r$ ,  $H$ .

Результаты эксперимента заносятся в таблицу (прил. А). Строятся графики зависимости сил резания от изменения параметров режима обработки.

## **7 СТРУКТУРА ОТЧЕТА**

1. Название, цель.
2. Краткие сведения об особенностях процесса резания на ленточно-пильных станках, элементах режима резания, видах стружки, силах резания.
3. Протоколы исследований изменения параметров режима резания, вида стружки и измерения силы резания.
4. Выводы и графики.

## **8 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Ленточнопильные технологии, их особенности и применение.
2. Режимы резания, особенности назначения.
3. Виды стружки, влияние элементов режима резания на вид получаемой стружки.
4. Зависимость силы резания от изменения параметров режима обработки.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Попок, Н.Н. Теория резания : учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей / Н.Н. Попок. – Новополюцк : ПГУ, 2006. – 240 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРОТОКОЛ № 1 «ИЗМЕРЕНИЕ ПОДАЧИ НА ЗУБ»

№ опыта	Скорость главного движения резания $v$ , м/мин	Диаметр заготовки $d$ , мм	Число зубьев на дюйм	Шаг зубьев пилы $A$ , мм	Положение тумблера переключения подачи	Время резания $T$ , мин	Скорость движения подачи $v_s$ , мм/мин	Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб
1					1			
2					2			
3					3			
4					4			
5					1			
6					2			
7					3			
8					4			

Заготовка: материал –

Режущий инструмент: тип, основные размеры (материал, ширина, толщина, длина режущего полотна) –

## ПРОТОКОЛ № 2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ СТРУЖКИ»

№ опыта	Серия опытов	Число зубьев на дюйм	Шаг зубьев пилы $A$ , мм	Положение тумблера переключения подачи	Режимы резания		Диаметр заготовки $d$ , мм	Вид стружки		
					$v_s$ , мм/мин	$v$ , м/мин		Вид А	Вид В	Вид С
1				1						
2				2						
3				3						
4				4						
5				1						
6				2						
7				3						
8				4						

Заготовка: материал –

Режущий инструмент: тип, основные размеры (материал, ширина, толщина, длина режущего полотна) –

### ПРОТОКОЛ № 3 «ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ»

№ опыта	Серия опытов	Число зубьев на дюйм	Шаг зубьев пилы $A$ , мм	Положение тумблера переключения подачи	Режимы резания		Диаметр заготовки $d$ , мм	Сила тока на холостом ходу $I_{xx}$ , А	Мощность холостого хода $N_{xx}$ , кВт	Сила тока $I$ , А	Мощность резания $N$ , кВт	Сила резания $P_z$ , Н
					$v_s$ , мм/мин	$v$ , м/мин						
1				1								
2				2								
3				3								
4				4								
5				1								
6				2								
7				3								
8				4								

Заготовка: материал –

Режущий инструмент: тип, основные размеры (материал, ширина, толщина, длина режущего полотна) –

Параметры электродвигателя:

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Порядок выполнения работы .....	3
2 Оборудование и приборы .....	3
3 Общие сведения .....	4
4 Определение элементов режима резания .....	5
5 Исследование вида стружки .....	8
6 Исследование силы резания .....	10
7 Структура отчета .....	12
8 Контрольные вопросы .....	12
Литература .....	12
Приложение .....	13