

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емец Валерий Сергеевич  
Должность: Директор филиала  
Дата подписания: 26.06.2025 16:43:41  
Уникальный программный ключ:  
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Рязанский институт (филиал)  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Энергетические системы и точное машиностроение»

Н.В. Аверин, А.Д. Чернышев

## **РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Рязань  
2025

**УДК 621.9.04**  
**ББК 34.5**  
**А 19**

**Аверин, Н.В.**

**А19** Режущий инструмент: методические указания по выполнению лабораторных работ / Н.В. Аверин, А.Д. Чернышев. – Рязань : Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2025. – 32 с.

В методических указаниях рассмотрен порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Режущий инструмент».

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств всех форм обучения.

Печатается по решению методической комиссии Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

**УДК 621.9**  
**ББК 34.63-5**

© Аверин Н.В., Чернышев А. Д., 2025  
© Рязанский институт (филиал)  
Московского политехнического  
университета, 2025

## Содержание

Введение .....	4
1 Лабораторная работа № 1. Изучение геометрии токарных резцов с исследованием процесса стружкообразования .....	5
2 Лабораторная работа № 2. Спиральные свёрла и их геометрия .....	13
3 Лабораторная работа № 3. Изучение конструкции разверток .....	22
Библиографический список .....	31

## **Введение**

Долговечность и надежность машиностроительных изделий, производительность труда и формы организации производства в значительной степени предопределяются технологическим оснащением технологических процессов, которые включают в себя оборудование, приспособления, режущий и мерительный инструмент. Все элементы технологического оснащения взаимосвязаны между собой, и развитие одного направления неизбежно приводит к развитию параллельных направлений.

Режущий инструмент обеспечивает внутренние связи процесса обработки. Качество и стойкость инструмента во многом определяют производительность и эффективность процесса обработки, а в некоторых случаях и, вообще, возможность получения деталей, требуемых формы, качества и точности. Повышение качества и надежности режущего инструмента способствует повышению производительности обработки металлов резанием.

От правильного выбора материала режущего инструмента и его линейных геометрических параметров зависят все основные производственные и эксплуатационные показатели деталей машин. Отклонения от оптимальных значений могут привести к ухудшению этих показателей или браку деталей. Происходят существенные изменения теплофизических и динамических параметров процесса обработки, снижается качество обработанной поверхности и стойкость инструмента.

Выполнение лабораторных работ по дисциплине позволит студентам закрепить теоретические знания на практике. При выполнении лабораторной работы студенты овладевают методами организации, подготовки и проведения эксперимента, анализом его результатов. В каждой лабораторной работе должна быть поставлена цель, только достижение, которой служит основанием для её завершения и защиты.

# 1 Лабораторная работа № 1. Изучение геометрии токарных резцов с исследованием процесса стружкообразования

**Цель:** изучение геометрических характеристик токарных резцов и их влияния на процесс стружкообразования при точении.

## Краткие теоретические сведения.

Металл, удаляемый в процессе резания с заготовки, подвергается пластическому деформированию и разрушению. В результате этого материал припуска, отделенный от обрабатываемой заготовки, приобретает характерную форму и называется стружкой.

Срезаемые стружки имеют различные вид и форму, зависящие от химического состава, структурного состояния и механических свойств обрабатываемых металлов, толщины срезаемого слоя, значения переднего угла инструмента, скорости резания и прочих менее влияющих факторов. Однако все стружки по внешнему виду и строению делятся на четыре основных типа: элементная, суставчатая, сливная и надлома. Элементную, суставчатую и сливную стружку называют стружками сдвига, так как их образование связано с напряжением сдвига. Стружку надлома иногда называют стружкой отрыва, так как ее образование связано с растягивающими напряжениями.

Внешний вид всех типов стружек показан на рисунке 1.1. Элементная стружка (рисунок 1.1а) состоит из отдельных элементов примерно одинаковой формы, не связанных или слабо связанных друг с другом.

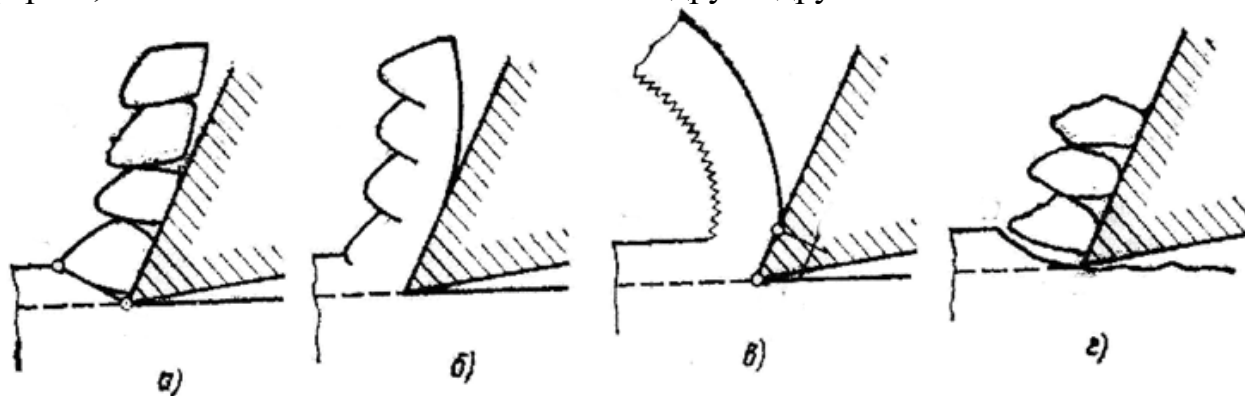
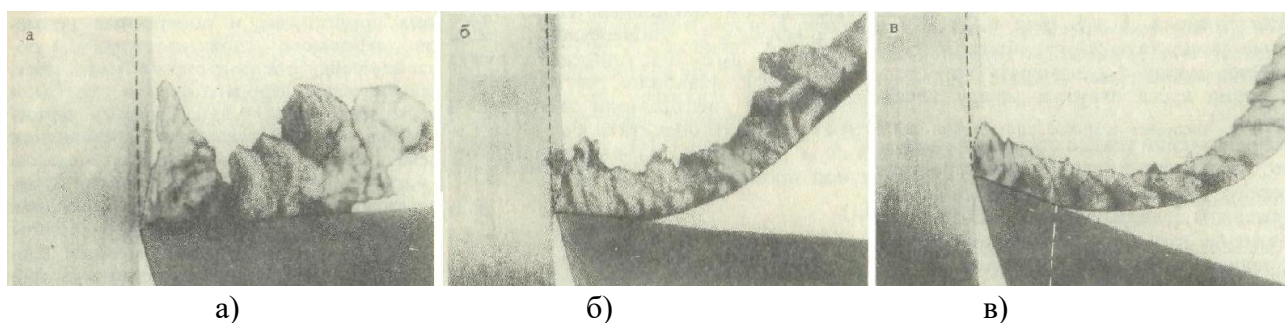


Рисунок 1.1 – Типы стружек, образующихся при резании пластичных и хрупких материалов

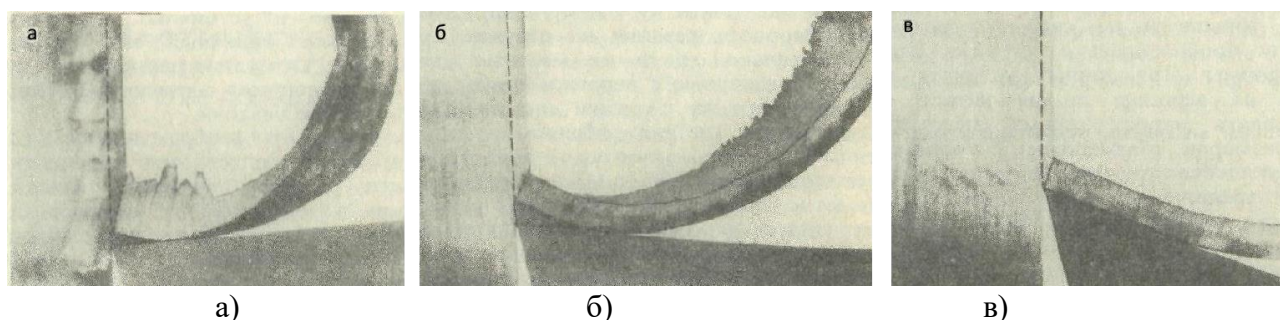
У суставчатой стружки (рисунок 1.1б) разделение на отдельные элементы не происходит, стружка состоит как бы из отдельных суставов без нарушения связи между ними. На рисунке 1.1в показана сливная стружка, основным признаком которой является сплошность, непрерывность. Она сходит с поверхности резца непрерывной лентой, закручиваясь в винтовую спираль, пока часть стружки не отламывается под действием собственного веса. Стружка надлома (рисунок 1.1г) состоит из отдельных, не связанных друг с другом кусочков различной формы и размеров.

Существенное влияние на процесс стружкообразования оказывают химический состав и механические свойства обрабатываемого материала, толщина срезаемого слоя, значение переднего угла, определяющего положение передней поверхности. С изменением условий резания внешний вид срезаемой стружки существенно изменяется. На рисунках 1.2 и 1.3 показано влияние скорости резания и значения переднего угла на внешний вид стружки при точении углеродистой стали У8А резцом, оснащенным твёрдым сплавом Т15К6. Переменными факторами являлись передний угол  $\gamma$  и скорость резания  $v$ . Подача оставалась постоянной  $S = 0,2 \text{ мм}^{-1}$ .



а)  $\gamma = -5^\circ$ ; б)  $\gamma = 10^\circ$ ; в)  $\gamma = 25^\circ$

Рисунок 1.2 – Влияние переднего угла на характер стружкообразования при малых скоростях резания ( $v = 4,5 \text{ м/мин}$ )



а)  $\gamma = -5^\circ$ ; б)  $\gamma = 10^\circ$ ; в)  $\gamma = 25^\circ$

Рисунок 1.3 – Влияние переднего угла на характер стружкообразования при средних скоростях резания ( $v = 23 \text{ м/мин}$ )

Если скорость резания невелика и передний угол отрицателен (рисунок 1.2а), то образование стружки идёт неупорядоченно. Срезанная стружка состоит из элементов различной формы и размеров, слабо связанных между собой. С увеличением переднего угла (рисунок 1.2б) образование стружки становится более упорядоченным и наблюдается некоторое повышение устойчивости стружкообразования. При дальнейшем увеличении переднего угла (рисунок 1.2в) срезанный металл имеет типичный вид стружки скалывания.

Из сравнения изображений на рисунках 1.2 и 1.3 следует, что увеличение скорости резания при всех значениях передних углов приводит к более стабильному пластическому деформированию материала срезаемого слоя и устранению различий во внешнем виде стружки. Достаточно заметно увеличение скорости отразилось на точении резцом с передним углом  $\gamma = 25^\circ$ , срезанный металл приобретает вид сливной стружки.

Можно сделать вывод, что скорость резания оказывает большее влияние на стабильность пластической деформации металла при стружкообразовании, чем значение переднего угла.

Усадка стружки – сопоставление продольных и поперечных размеров срезаемого слоя и стружки, образовавшейся после срезания этого слоя. Усадку стружки используют при оценке степени пластической деформации металла в процессе стружкообразования. В результате пластического деформирования металла длина  $l_2$  срезанной стружки меньше длины  $l_1$  срезанного слоя, а толщина  $a_2$  и ширина  $b_2$  стружки, наоборот, больше толщины  $a_1$  и ширины  $b_1$  срезанного слоя.

Таким образом:

$$1) \text{ продольная усадка стружки} - \xi_l = \frac{l_2}{l_1} \leq 1;$$

$$2) \text{ поперечная усадка стружки} - \xi_a = \frac{a_2}{a_1} \geq 1;$$

$$3) \text{ уширение стружки} - \xi_b = \frac{b_2}{b_1} \geq 1.$$

Наиболее часто степень пластической деформации металла в стружке принято оценивать коэффициентом усадки  $K_l$  – величиной, обратной продольной усадке  $\xi_l$

$$K_l = \frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{\xi_l} > 1. \quad (1.1)$$

Длину  $l_2$  стружки обычно измеряют при помощи гибкой нити, прилегающей к гладкой поверхности куска стружки между точками А и Б (рисунок 1.4). Более точные результаты могут быть получены, если длину  $l_{2cp}$  измерять по средней линии куска стружки между точками А1 и Б1.

При изучении усадки стружки не всегда известна длина слоя  $l_1$ , после срезания которого образовался наличный кусок стружки.

В таких случаях исходят из положения, что при пластическом деформировании не нарушается сплошность металла и, следовательно, плотность  $\rho$  исходного металла и деформированного металла стружки остается постоянной. При одинаковой плотности  $\rho$  масса стружки  $m_{стр}$  некоторой длины равна массе соответствующего объема срезанного слоя  $m_{сл}$ . Массу стружки определяем взвешиванием на аналитических весах. Масса срезанного слоя связана с параметрами его поперечного сечения уравнением

$$m_{сл} = S \cdot t \cdot l_1 \cdot \rho, \quad (1.2)$$

где  $S$  – подача,  $\text{мм}^{-1}$ ;

$\rho$  – плотность обрабатываемого материала,  $\text{кг/м}^3$ ;

$t$  – глубина резания,  $\text{мм}$ .

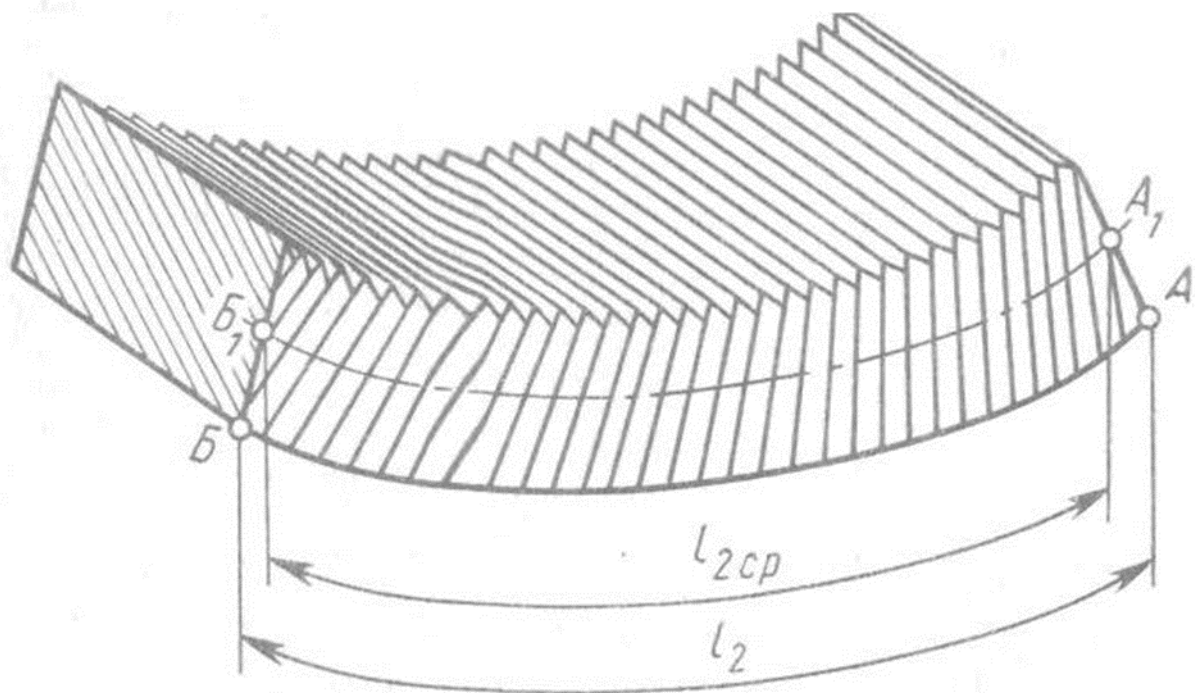


Рисунок 1.4 – Измерение длины стружки и ее усадки

Следовательно, длина срезаемого слоя, из которого образовалась срезанная стружка, определяется выражением

$$l_1 = \frac{m_{\text{сл}}}{S \cdot t \cdot \rho} = \frac{m_{\text{стр}}}{S \cdot t \cdot \rho}, \quad (1.3)$$

а её продольная усадка

$$\xi_l = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_2 \cdot S \cdot t \cdot \rho}{m_{\text{стр}}}. \quad (1.4)$$

Метод определения усадки стружки, полученной при заданных режимах  $S$  и  $t$ , измерением её длины и массы взвешиванием принято называть весовым методом.

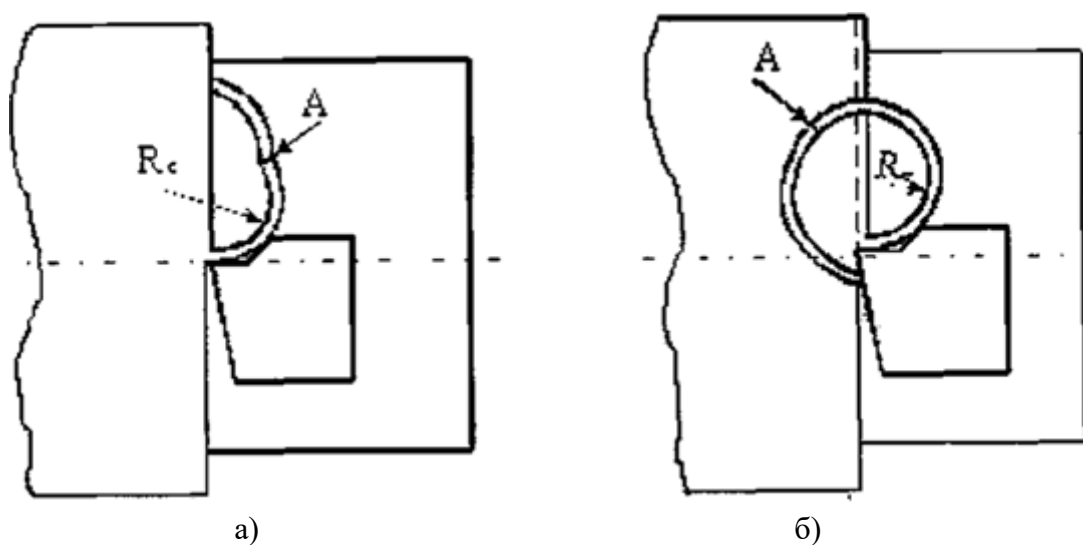
За время работы резца происходят изменения его геометрии. Это приводит к изменению геометрии стружки. Стружка может принимать вид витой пружины, опутывая деталь. Сократить простои станков при токарной обработке по причине удаления стружки, опутавшей деталь, инструмент и другие элементы технологической системы, можно путём обеспечения стабильного стружкодробления в процессе резания. Следует подчеркнуть, что это является необходимым требованием при автоматизации токарной обработки, а также для эффективной эксплуатации дорогостоящих станков с ЧПУ токарной группы. Кроме того, дробленая стружка позволяет повысить



эффективность производства, т. к. в этом случае более рационально используются транспортные ёмкости при перевозке стружки на утилизацию.

В настоящее время проблема дробления стружки при точении наиболее удачно решается путём использования сменных многогранных пластин (СМП) со специальной стружкоформирующей геометрией на передней поверхности в сочетании с режимами и схемой резания. Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что механизм разрушения стружки при её дроблении в процессе точения заключается в следующем.

Сходя по передней поверхности, стружка завивается в виток радиусом  $R$ , свободный конец которого упирается либо в поверхность резания, либо в главную заднюю поверхность (рисунок 1.5).



а) поверхностью резания; б) с задней поверхностью  
Рисунок 1.5 – Дробление стружки при взаимодействии

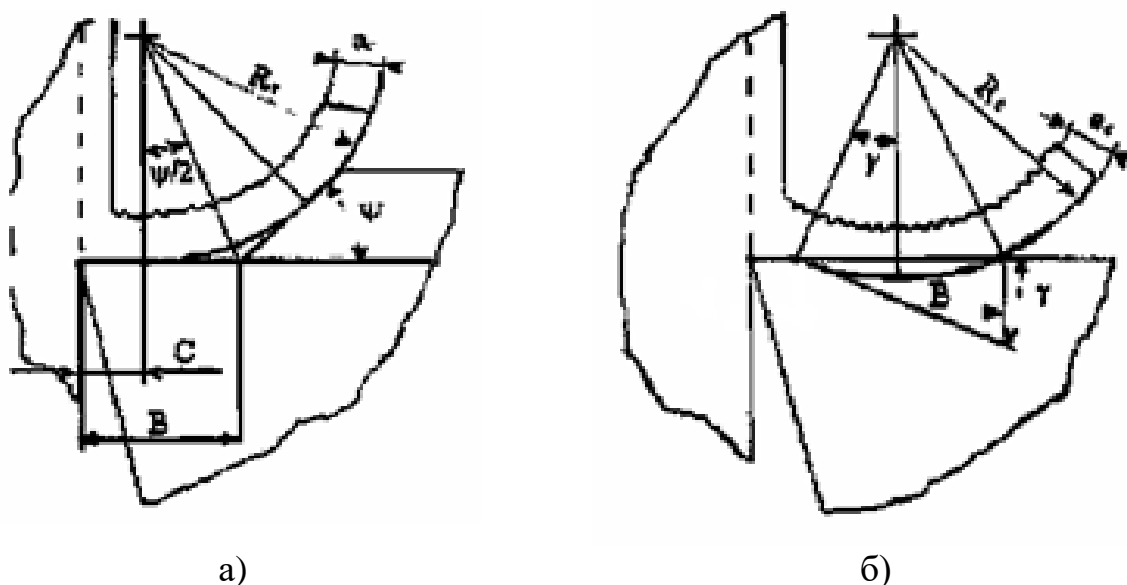
Под воздействием вновь образующихся элементов сливной стружки виток стремится разогнуться, что приводит к увеличению его радиуса. В результате этого слои контактной стороны стружки сжимаются, а слои свободной стороны стружки, напротив, растягиваются. При достижении напряжений, превосходящих значения предела прочности материала стружки, происходит разрушение витка. Из изложенного очевидно, что при прочих равных условиях вероятность дробления стружки увеличивается с уменьшением диаметра её витка. С этой целью на передней поверхности формируются либо радиусные канавки, либо уступы. В качестве последних при плоской передней поверхности СМП можно использовать накладные стружколомы. В соответствии с расчётными схемами на рисунке 1.6 радиус витка стружки  $R_c$  можно определить по зависимостям:

1) для уступа (стружколома)

$$R_c = (B - C) \operatorname{ctg} \frac{\Psi}{2}; \quad (1.5)$$

2) для радиусной канавки

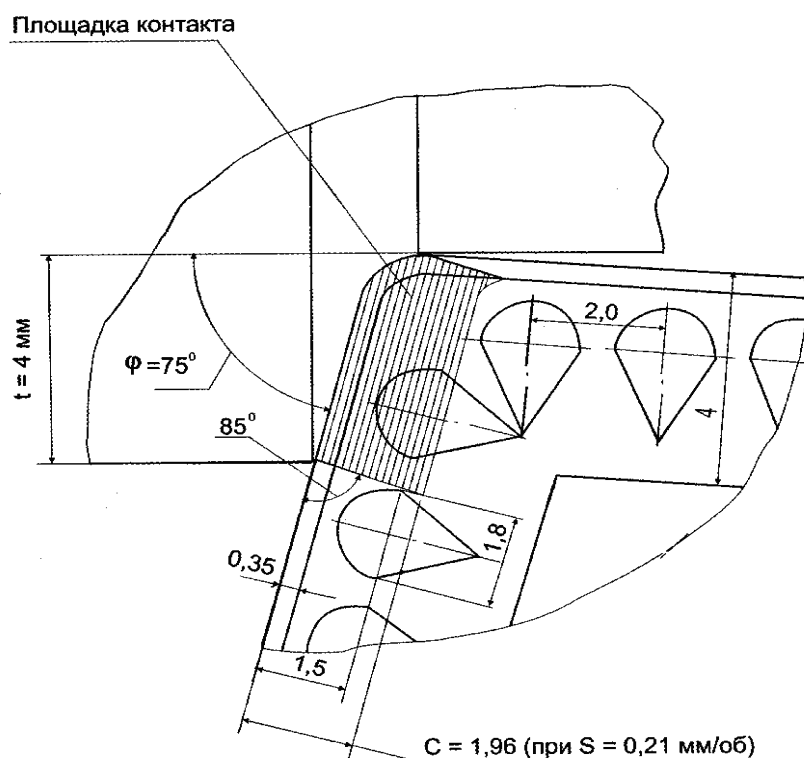
$$R_c = \frac{B}{2\sin\gamma}. \quad (1.6)$$



а) для накладного стружколома; б) для стружкозавивающей канавки  
Рисунок 1.6 – Схема определения радиуса витка стружки  $R_c$

Увеличить жёсткость стружки можно не только путём уменьшения диаметра её витка, но и путём придания её поперечному сечению соответствующей конфигурации. Формирование жёсткой конфигурации поперечного сечения стружки основано на её деформировании в процессе контакта с передней поверхностью. При этом главная режущая кромка может оставаться прямолинейной. Для деформирования стружки в поперечном направлении необходима специфическая форма передней поверхности, например, в виде локальных сферических выступов, расположенных вдоль главной режущей кромки. На рисунке 1.7 показано расположение выступов для СМП типа CNMM.

В этом случае сходящая стружка продавливается во впадины между выступами, в результате чего формируется волнообразное поперечное сечение, приводящее к увеличению жёсткости стружки (рисунок 1.8).



$t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача на оборот,  $\text{мм}^{-1}$ ;  $\varphi$  – главный угол в плане  
Рисунок 1.7 – Особенности контакта стружки на передней поверхности СМП

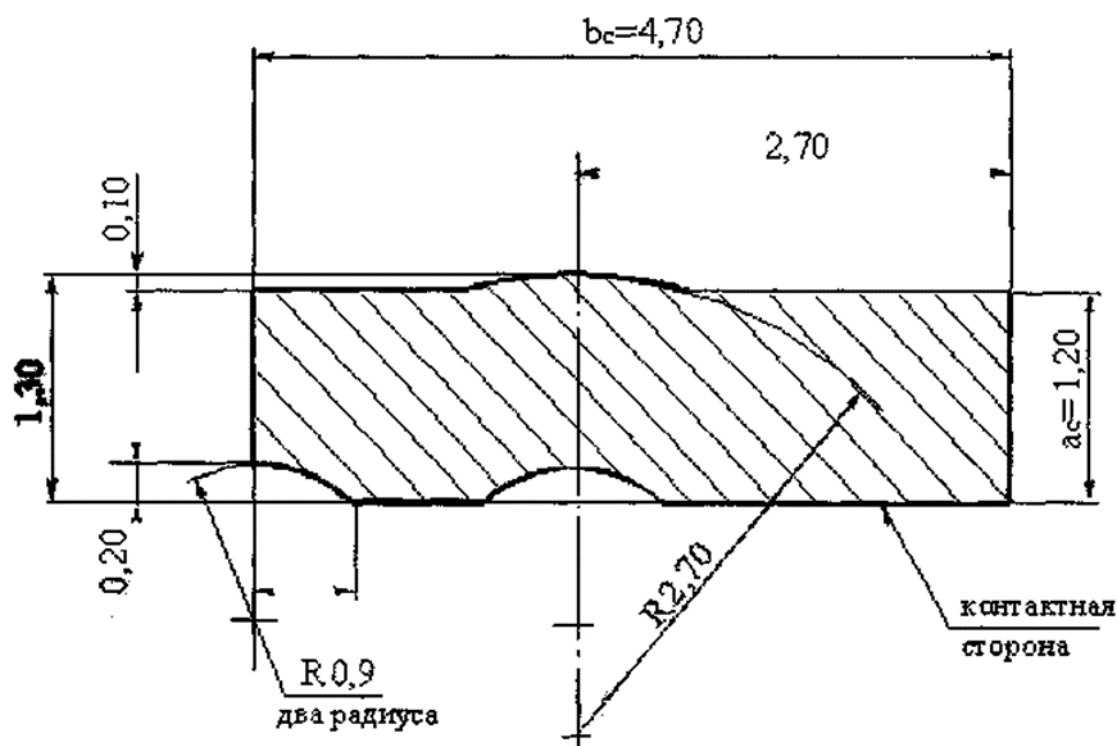


Рисунок 1.8 – Форма поперечного сечения стружки при  $t = 4 \text{ мм}$

Надёжное стружкодробление является гарантией соблюдения правил безопасности при работе на станках с ручным управлением и необходимым условием безостановочной работы станков-автоматов, а также удобства уборки и снижения затрат на транспортировку отходов.

При правильном выборе геометрии передней поверхности обеспечивается минимальная площадь контакта стружки с пластиной. Стружка скользит только по вершинам выступов, из-за чего уменьшается количество передаваемого в пластину тепла и повышается стойкость инструмента.

### Порядок выполнения работы.

1. Произвести измерение геометрии режущей части резца универсальным угломером, а измерение размеров резца и заготовки – штангенциркулем и масштабной линейкой. Выполнить чертёж резца. Результаты измерения занести в отчёт.

2. Исследовать зависимость коэффициента усадки стружки от переднего угла  $\gamma = 0^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ , при постоянной скорости резания, глубине и подаче.

3. Исследовать зависимость коэффициента усадки стружки от скорости резания  $V = 10, 20, 30, 40$  м/мин (при  $n = 125, 250, 355, 450$  мин<sup>-1</sup>), при постоянном переднем угле резца глубине и подаче.

4. Исследовать зависимость коэффициента усадки стружки от подачи  $S_0 = 0,25; 0,50; 0,75; 1$  мм<sup>-1</sup>, при постоянной скорости резания, глубине и переднем угле резца. Результаты исследования заносятся в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты эксперимента

№	Диаметр заготовки, мм	Углы резца			Режимы резания				Длина участка заготовки	Длина стружки	Коэф. усадки стружки
		$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\varphi^\circ$	t, мм	S <sub>o</sub> , мм/об	n, об/мин	V, м/мин	l, мм	l <sub>1</sub> , мм	l <sub>1</sub> /l
Влияние геометрии резца											
1		0°									
2		3°									
3		5°									
4		10°									
Влияние скорости резания											
1							125	10			
2							250	20			
3							355	30			
4							450	40			
Влияние подачи											
1						0,25					
2						0,5					
3						0,75					
4						1					

5. Произвести с помощью гибкой меры измерение длины стружки  $l_1$  и длины  $l$  участка, с которого срезана стружка. Рассчитать для каждого измерения коэффициент усадки стружки.

6. Построить зависимости:  $K1 = f(\gamma)$ ;  $K2 = f(V)$ ;  $K3 = f(S_o)$ . По полученным графикам сделать выводы о влиянии переднего угла, скорости резания и подачи на величину пластической деформации срезаемого слоя.

7. При скоростях резания  $V = 1, 10, 60$  м/мин (при  $n = 12,5; 125; 255$  мин<sup>-1</sup>) получить и зарисовать вид стружки при обработке стальной заготовки. Определить характер стружки.

8. Аналогичные исследования проводятся при обработке чугуновой заготовки. Определить характер стружки.

Содержание отчёта о выполнении лабораторной работы.

1. Цель работы.
2. Расчёт коэффициента усадки стружки.
3. Чертёж резца.
4. Таблицы и графики получаемых зависимостей.
5. Выводы по результатам исследований.
6. Чертежи стружек при обработке стали и чугуна при различных режимах резания.

### **Контрольные вопросы.**

1. Назовите основные виды стружки, получаемой в процессе резания.
2. Дать краткую характеристику элементной стружки.
3. Дать краткую характеристику сливной стружки.
4. Дать краткую характеристику стружки надлома.
5. Какие факторы оказывают существенное влияние на процесс стружкообразования?
6. Объяснить влияние скорости на внешний вид получаемой стружки?
7. Объяснить понятие «усадка стружки», виды усадки.
8. Объяснить принцип измерения усадки стружки весовым методом.
9. Как влияет передний угол резца на вид стружки?
10. Объяснить стружкодробление с помощью СМП.

## **2 Лабораторная работа № 2. Спиральные свёрла и их геометрия**

**Цель:** ознакомление с элементами конструкции спиральных свёрл. Изучение геометрических параметров спирального сверла и освоение методов их измерения и расчёта.

### **Краткие теоретические сведения.**

Сверление – один из наиболее распространенных способов получения цилиндрических отверстий глухих и сквозных в сплошном материале, когда требования к точности не выходят за пределы 9 качества.

Процесс сверления совершается при двух совместных движениях:

- 1) вращение сверла или детали вокруг отверстия (главное движение);
- 2) поступательное движение сверла вдоль оси (движение подачи).

У сверла различают следующие части (рисунок 2.1):

- 1) рабочая часть – часть сверла, которая образована двумя винтовыми канавками, которая включает в себя режущую и направляющую части сверла;
- 2) режущая часть (заборный конус) – часть сверла, заточенная на конус и несущая режущие кромки;
- 3) направляющая часть – участок рабочей части, который обеспечивает направление сверла в отверстии в процессе резания;
- 4) хвостовик – участок сверла, служащий для его закрепления и передачи крутящего момента от шпинделя;
- 5) лапка (у сверла с коническим хвостовиком) – служит упором при выбивании сверла из шпинделя и предохраняет от проворота.

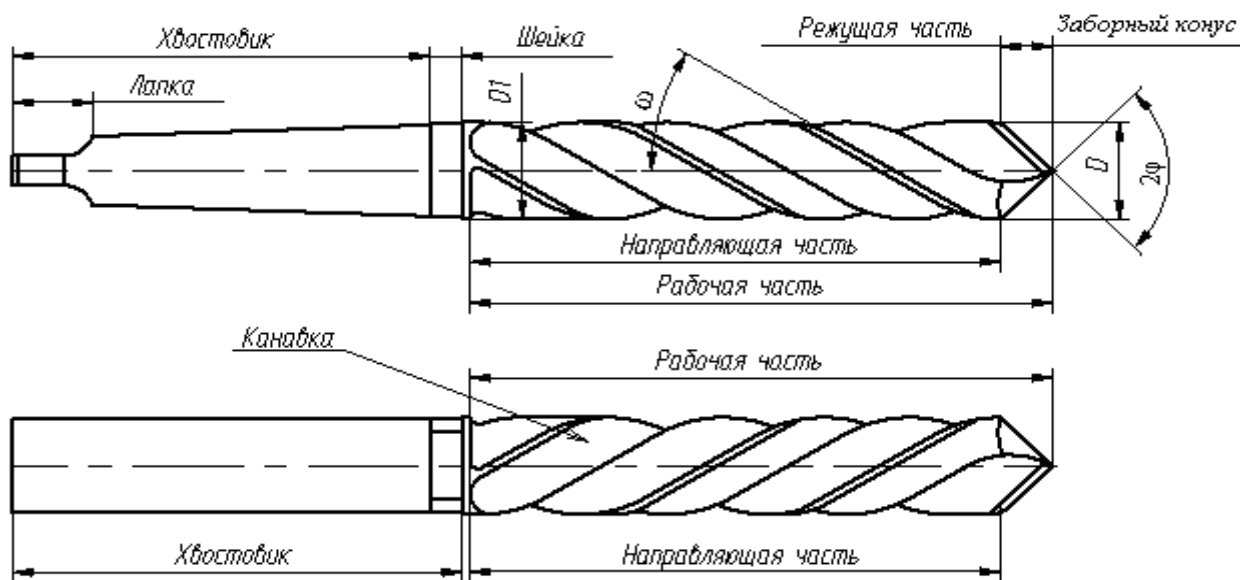


Рисунок 2.1 – Части спирального сверла

Между хвостовиком и рабочей частью находится шейка, которая является переходным участком. Как правило, по шейке проходит сварной шов, т. к. рабочая часть состоит из инструментальной стали, а хвостовик из конструкционной. У свёрл с цилиндрическим хвостовиком шейка отсутствует.

Основные элементы сверла показаны на рисунке 2.2.

1. Передняя поверхность – винтовая поверхность канавки, по которой сходит стружка. Представляет собой линейчатую винтовую поверхность, плавно сопрягающуюся с криволинейной винтовой поверхностью стружечной канавки.

2. Задняя поверхность, обращенная к обрабатываемой поверхности, может быть конической, линейчатой винтовой или плоскостью. Наибольшее распространение нашли свёрла, у которых задняя поверхность является частью конической поверхности с осью, перекрещивающейся с осью сверла под некоторым углом, или является винтовой поверхностью.

3. Режущая кромка – линия, образованная пересечением передней и задней поверхностей.

4. Вспомогательная задняя поверхность – узкая ленточка на винтовой поверхности сверла. Обеспечивает сверлу направление при резании. Представляет собой часть конической поверхности с очень малой конусностью (с углом  $\phi_1$ , его рассмотрим ниже), ось которой совпадает с осью сверла.

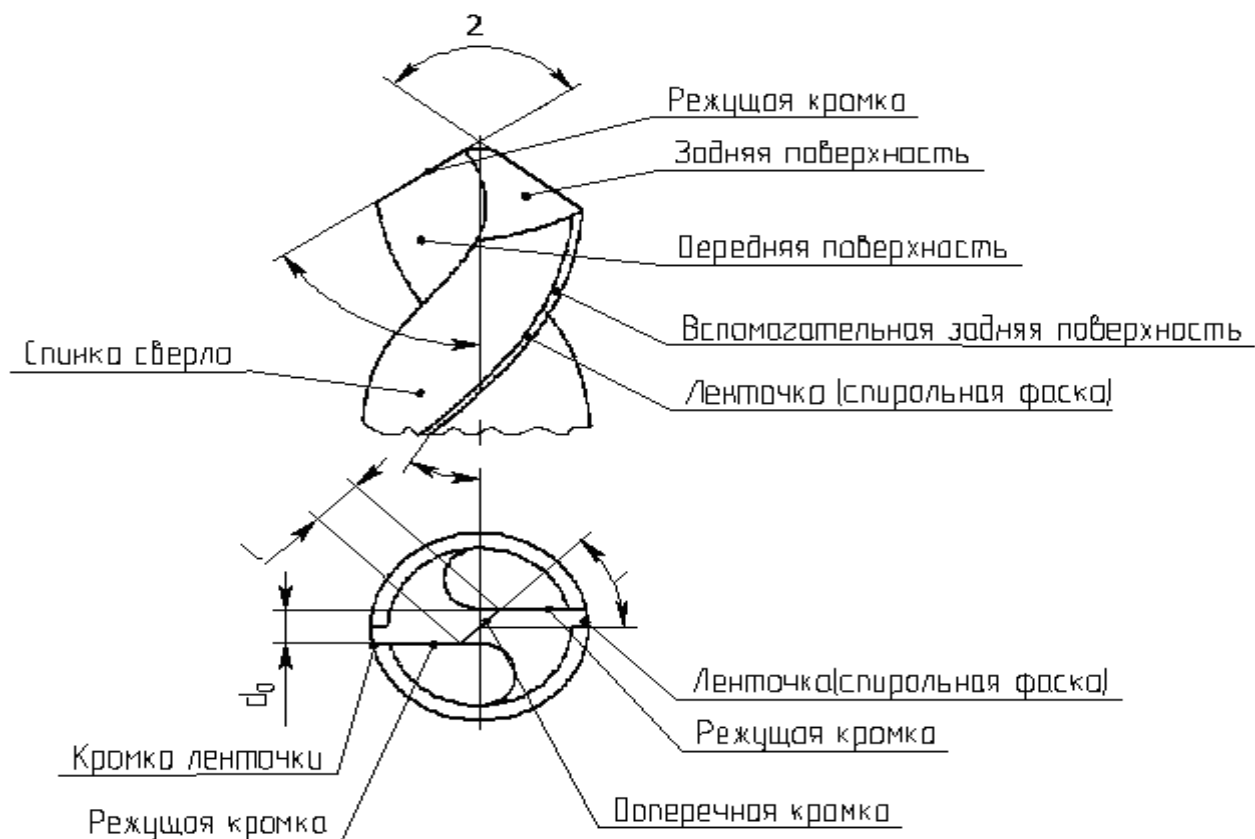


Рисунок 2.2 – Основные элементы спирального сверла

5. Спинка сверла – часть вспомогательной задней поверхности. Для уменьшения трения между сверлом и стенкой отверстия спинка сверла занижена относительно ленточки (фаски).

6. Поперечная кромка (перемычка) – линия, образованная при пересечении задних поверхностей. Имеет определённую длину  $l$ .

На рисунке 2.3 представлены основные геометрические параметры свёрл.

Две главные режущие кромки, расположенные на режущей части (заборном конусе), образуют угол при вершине  $2\phi$ , который, например, у свёрл по стали равен  $118^\circ$ , по алюминию –  $90^\circ$ . Двойной угол в плане  $2\phi$  – есть угол между проекциями главных режущих кромок на плоскость, проходящую через ось сверла, параллельно главным режущим кромкам.

Величина угла  $2\phi$  зависит от твёрдости и прочности материала обрабатываемой детали, возрастает при увеличении последних. В этом случае угол  $2\phi$  может колебаться в пределах от  $90^\circ$  до  $140^\circ$ .

Чтобы исключить возможность защемления сверла в отверстии, направляющую часть делают с обратной конусностью, составляющей от 0,04 мм до 0,1 мм на 100 мм длины рабочей части сверла. Поэтому вспомогательная задняя поверхность образует с плоскостью, параллельной оси сверла,

вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ .

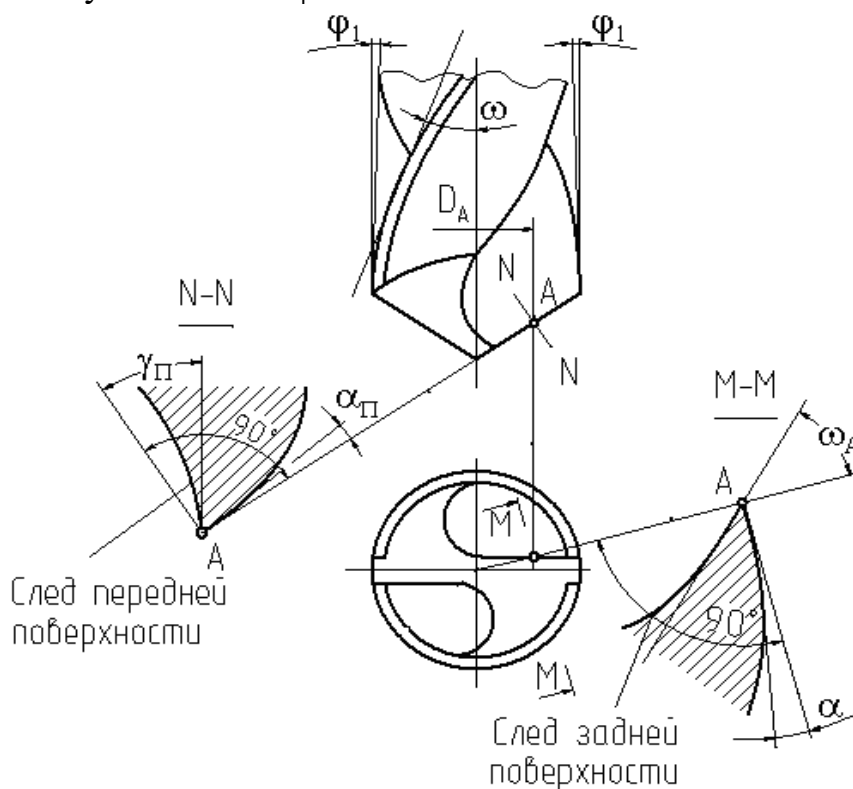


Рисунок 2.3 – Углы режущей части спирального сверла

Его величина определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = D - \frac{D_1}{2L}, \quad (2.1)$$

где  $D$  и  $D_1$  – диаметры сверла в начале и конце направляющей части, мм;  
 $L$  – длина направляющей части, мм.

Угол  $\psi$  – это угол между проекциями главного лезвия и перемычки на плоскость, перпендикулярную оси сверла. Величину угла обозначают углом  $\psi$  и называют углом наклона перемычки (поперечной режущей кромки),  $\psi = 50-55^\circ$ .

К геометрическим параметрам сверла относится угол  $\omega$ , который называется углом наклона винтовой канавки, по ней транспортируется стружка. Это угол между касательной к винтовой линии канавки и осью сверла. Наклон винтовой канавки у свёрл берётся от  $15^\circ$  до  $45^\circ$ . У стандартных свёрл угол  $\omega = 30^\circ$ .

Вследствие известных свойств винтовой поверхности угол наклона винтовой канавки переменен в различных точках главной режущей кромки.

На рисунке 2.4 изображены развёрнутые на плоскость винтовые линии, соответствующие периферийной точке главной режущей кромки с радиусом  $R = \frac{D}{2}$  и точке главной режущей кромки, лежащей на цилиндре радиуса  $r$ . Шаг указанных винтовых линий канавки обозначен через  $H$ .



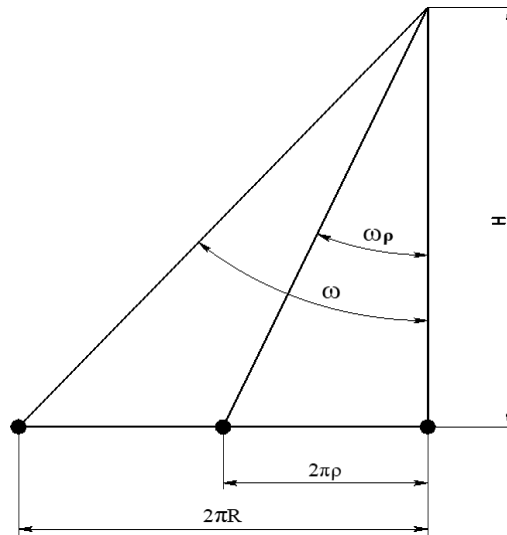


Рисунок 2.4 – Развёртка винтовых линий канавки сверл на плоскости

Решая два треугольника, получается

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{2\pi R}{H}, \operatorname{tg} \omega_{\rho} = \frac{2\pi \rho}{H}, \operatorname{tg} \omega_1 = \frac{D - D_1}{2L}. \quad (2.2)$$

Для точек лезвия, приближающихся к перемычке, угол наклона  $\omega_{\rho}$  винтовой канавки непрерывно уменьшается. Передний угол  $\gamma$  сверла измеряют в плоскости, нормальной к главной режущей кромке. Это есть угол между плоскостью, касательной к передней поверхности, и плоскости, проходящей через главную режущую кромку параллельно оси сверла.

Передний угол сверла на чертеже не проставляется, так как формы и положение передней поверхности определяют шаг и угол наклона винтовой канавки. Однако величину статического переднего угла необходимо знать при определённых рабочих углах сверла в различных точках. Поскольку передний угол образуется в результате пересечения передней поверхности нормальной плоскостью  $N-N$ , его величина определяется параметрами винтовой поверхности (рисунок 2.5).

В зависимости от режущего радиуса  $\rho$  точки  $x$  на главной режущей кромки угол  $\gamma_x$  определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{\sqrt{\rho_x^2 - r_o^2}}{\left( \frac{H}{2\pi} - r_o \operatorname{ctg} \varphi \right) \sin \varphi}, \quad (2.3)$$

где  $r_o$  – радиус сердцевины, мм (рисунок 2.2),  $r_o = \frac{d_o}{2}$ ;

$H$  – шаг винтовой канавки, мм,  $H = \pi D \operatorname{ctg} \omega$ .

Угол  $\alpha$  называют задним углом сверла (рисунок 2.3).

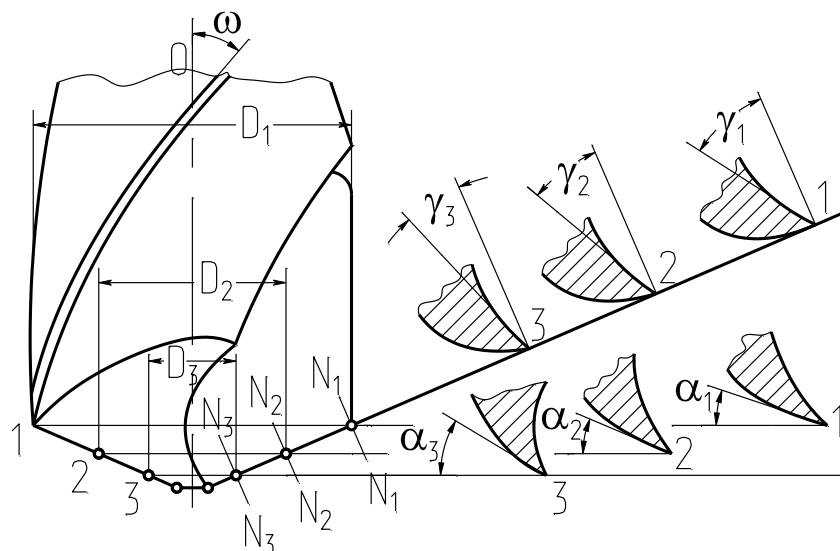


Рисунок 2.5 – Передние и задние углы сверла

При существующих средствах измерения заднего угла его удобнее задавать не в плоскости N-N, а в плоскости, касательной к образующей цилиндра, проходящего через заданную точку главного лезвия.

Задним углом  $\alpha$  называют угол между плоскостью касательной и задней поверхностью и плоскостью, перпендикулярной оси сверла. Задний угол в различных точках главной режущей кромки переменный. Но если передний угол по мере приближения к центру сверла уменьшается (т. к. он определяется углом  $\omega$ ), то задний возрастает (рисунок 2.5).

В процессе резания в результате вращательного и поступательного движений сверла поверхность резания представляет собой винтовую поверхность (рисунок 2.6).

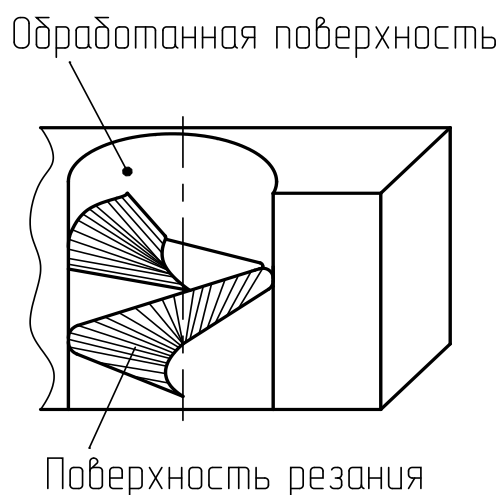


Рисунок 2.6 – Поверхности при сверлении

Вследствие этого действительные углы сверла изменяются: передний угол  $\gamma_p$  становится больше угла  $\gamma$ , рассчитанного в статике, т. е.  $\gamma_p = \gamma + \mu$ , а задний угол  $\alpha_p$  становится меньше угла  $\alpha$  (рисунок 2.7)

$$\alpha_p = \alpha - \mu,$$

где  $\mu$  – угол наклона винтовой линии траектории резания.

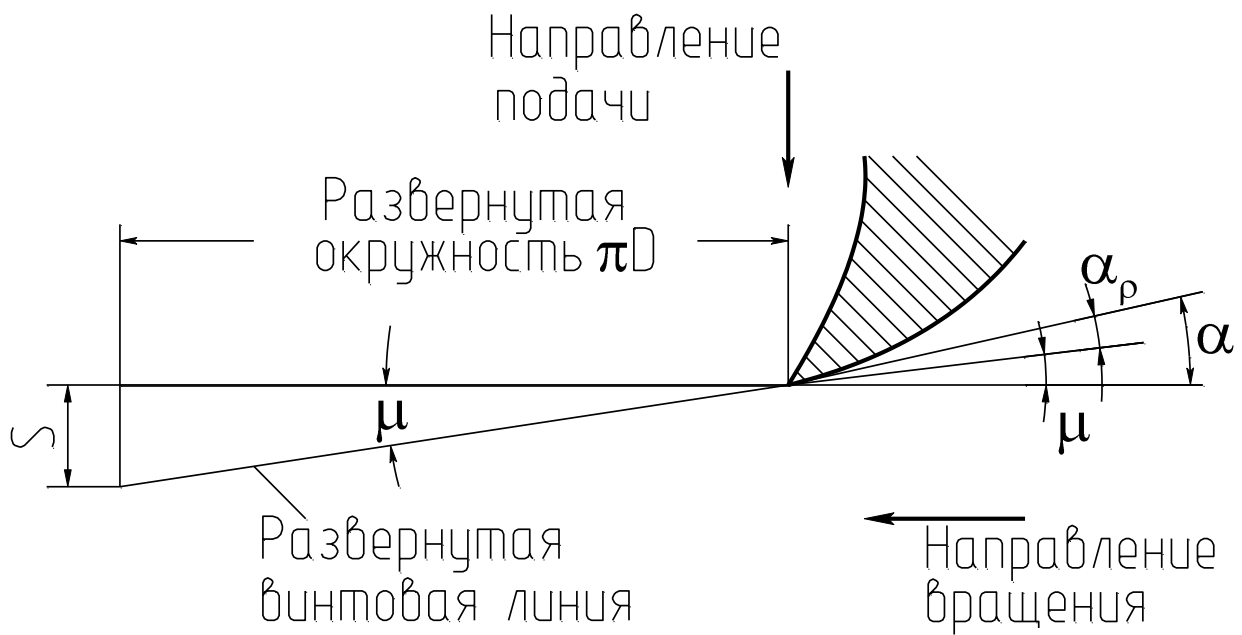


Рисунок 2.7 – Задний угол сверла в процессе резания

Связь угла  $\mu$  с подачей  $S$  определяется выражением

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S}{\pi D}, \quad (2.4)$$

где  $S$  – подача сверла,  $\text{мм}^{-1}$ ;  
 $D$  – диаметр сверла, мм.

На рисунке 2.8 показана схема резания с обычно принятыми обозначениями.

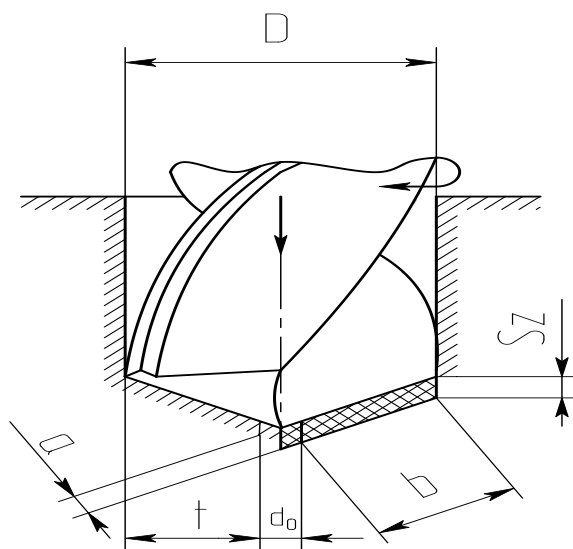


Рисунок 2.8 – Элементы резания при сверлении

Порядок выполнения работы.

1. Составляется эскиз рабочей части заданного преподавателем сверла, на котором указываются необходимые геометрические и конструктивные параметры. Эти параметры измеряют непосредственно на сверле, а результаты заносят в таблицу отчёта.

С помощью микрометра производится измерение диаметров сверла  $D$  и  $D_1$ . Штангенциркулем измеряется расстояние  $L$  между сечениями, в которых измеряем диаметры  $D$  и  $D_1$ .

Штангенциркулем измеряется диаметр сердцевинки и длина  $l$  поперечных кромок.

С помощью угломера измеряется угол при вершине заборного конуса. При измерении плоскости угломеры по возможности располагаются по двум главным режущим кромкам сверла.

Угол наклона поперечных режущих кромок должен измеряться в плоскости, перпендикулярной оси.

Угломером, можно, его измерить приближенно в плоскости, касательной поверхности конуса с углом при вершине, равным  $2\phi$ . В этом случае измерительные плоскости угломера устанавливаются так, чтобы одна плоскость лежала на главной режущей кромке, а другая располагалась касательно к поперечным режущим кромкам в точке их сопряжения.

Угол  $\psi$  определяется как разность  $180^\circ$  и измеренного угла.

Путём прокатывания сверла по листу белой бумаги получают следы развернутой винтовой ленты по наружной поверхности сверла (рисунок 2.9).

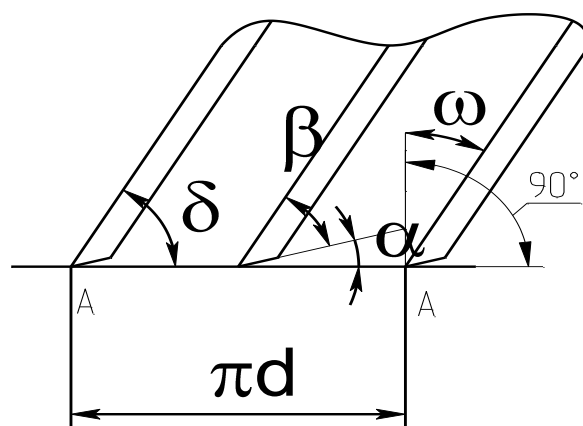


Рисунок 2.9 – Следы винтовых поверхностей сверла

Через отпечатки винтовых линий проводятся наклонные прямые  $a$  по их вершинам – базовая линия А-А, а затем измеряется угол подъёма винтовой линии по наружной поверхности сверла.

Угол наклона винтовой линии  $\omega$  находят как разность  $90^\circ$  и измеренного угломером (транспортиром) угла подъёма винтовой линии  $\delta$ .

Численные значения измеренных параметров проставляют на эскизе и заносят в таблицу 2.1.

2. Определяются углы наклона винтовой канавки передних углов по примеру главной режущей кромки сверла; угол обратного конуса рабочей части.

На длине режущей кромки выбираются три точки. Радиус первой точки  $\rho_1$  принимается равным  $d_o/2 + 1$ , третья точка берётся на периферии с радиусом  $\rho_3$  равным половине  $D$ , радиус второй точки  $\rho_2$  принимает промежуточное значение

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 + \rho_3}{2}.$$

Для выбранных точек рассчитывают углы  $\omega$ х наклона винтовой канавки и переднего угла  $\gamma$ х по формулам (2.3) и (2.4).

Угол обратного конуса рабочей части определяется по формуле (2.1).

На эскизе проставляют значение переднего угла, соответствующее точке с радиусом  $\rho_2$ . Также на эскизе проставляют значение угла наклона обратного конуса. По полученным значениям углов  $\gamma$  и  $\omega$  строят графики изменения углов по периметру режущей кромки сверла.

3. Измеряется задний угол сверла.

Задний угол сверла можно измерить только на периферии согласно теоретической части.

Универсальным угломером (транспортиром) определяют как разность  $d = 90^\circ - (\beta + \omega)$ . Полученное значение проставляют на эскизе.

Таблица 2.1 – Параметры сверла

Материал сверла	Диаметр сверла $D$ , мм	Диаметр сверла $D_1$ , мм	Длина рабочей части $l$ , мм	Диаметр сердцевины $d_o$ , мм	Длина перемычки $l$ , мм	Шаг винтовой канавки $H$ , мм

Углы сверла										
2φ	ψ	ω <sup>x</sup> на периферии	α <sup>x</sup> на периферии	ω <sub>1</sub>	ω <sub>2</sub>	ω <sub>3</sub>	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>3</sub>	φ <sub>1</sub>

По результатам работы делают выводы о характере изменения углов наклона винтовой канавки и переднего угла в зависимости от положения точки на режущей кромке и влияние этого изменения на условия работы сверла.

### Контрольные вопросы.

1. Из каких частей состоит сверло?
2. Из каких элементов состоит рабочая часть сверла?
3. Укажите длину направляющей части.
4. Укажите длину режущей части.
5. Укажите главную режущую кромку.
6. Укажите вспомогательную режущую кромку.
7. Укажите спинку сверла.
8. Для чего нужен хвостовик.
9. Для чего нужна лапка сверла?
10. Как образуется главная режущая кромка?
11. Укажите поперечную режущую кромку.
12. Как образуется поперечная режущая кромка?
13. Что называют передним углом?
14. В какой плоскости измеряют передний угол?
15. Что называют задним углом?
16. В какой плоскости измеряют задний угол?
17. Перечислите поверхности режущей части сверла.
18. Чему равен задний угол на вспомогательной задней поверхности?
19. Для чего нужен угол φ<sub>1</sub>?
20. Дайте определение углу наклона винтовой канавки, как он обозначается, как измеряется и в какой плоскости.

## 3 Лабораторная работа № 3. Изучение конструкции разверток

**Цель:** Ознакомление с основными конструкциями разверток и расчет развертки для обработки цилиндрического отверстия.

### Краткие теоретические сведения.

Развёртка – режущий инструмент, предназначенный для окончательной обработки отверстия после зенкерования или растачивания. Развертыванием достигают от 6 до 9 качества и шероховатости обработанной поверхности Ra = 1,25-0,63 мкм.

Высокая размерная точность отверстия и низкая шероховатость достигается за счёт большего числа зубьев (6-14) и малым припуском под

обработку. Помимо цилиндрических отверстий развертывают конические отверстия и ступенчатые. Отверстия могут быть сквозными и глухими.

По способу применения развертки классифицируются на машинные (рисунок 3.1) и ручные (рисунок 3.2). Машинные используют только на станках, ручными развёртками отверстия обрабатывают вручную. Однако при необходимости последними можно работать на металлорежущем оборудовании.



Рисунок 3.1 – Развёртки машинные



Рисунок 3.2 – Развёртки ручные

По методу установки на станке различают концевые (хвостовые) и насадные развёртки. Концевые развёртки в зависимости от формы хвостовика устанавливаются в цанговых патронах или переходных втулках (рисунок 3.3), а насадные развёртки закрепляются на специальных оправках. Совмещение осей развёртки и отверстия обеспечивается качающейся (плавающей) конструкцией патрона.

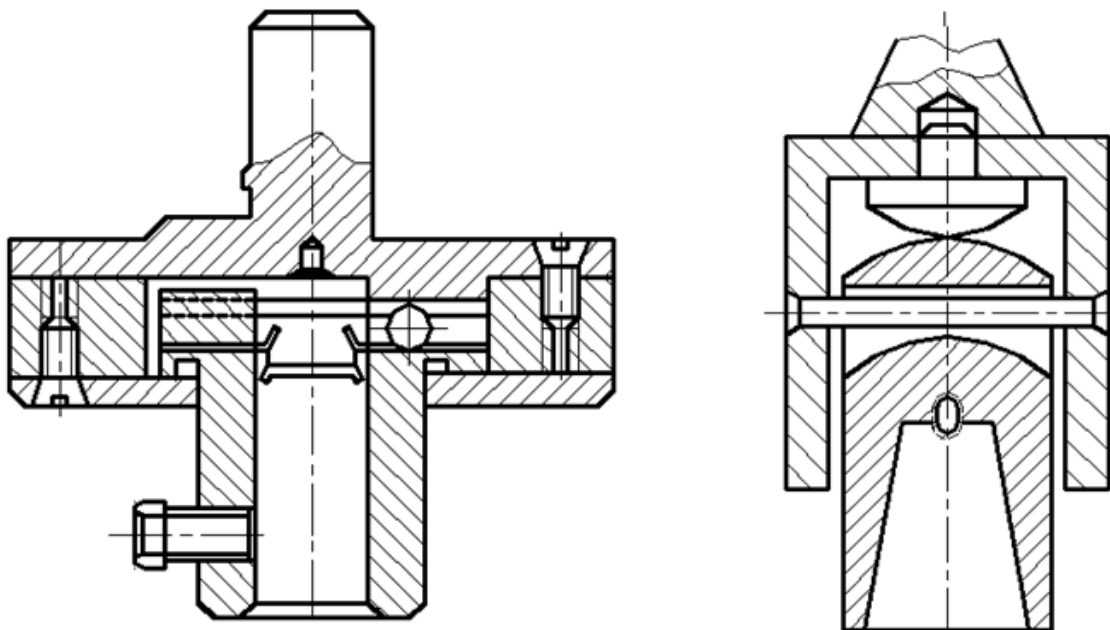


Рисунок 3.3 – Качающиеся патроны для крепления разверток

По конструкции рабочей части развертки бывают цельные, сборные (диаметр сборных разверток можно регулировать от 0,15 мм до 3 мм). По принципу регулирования диаметра бывают разжимные и раздвижные. Разжимная развертка показана на рисунке 3.4.

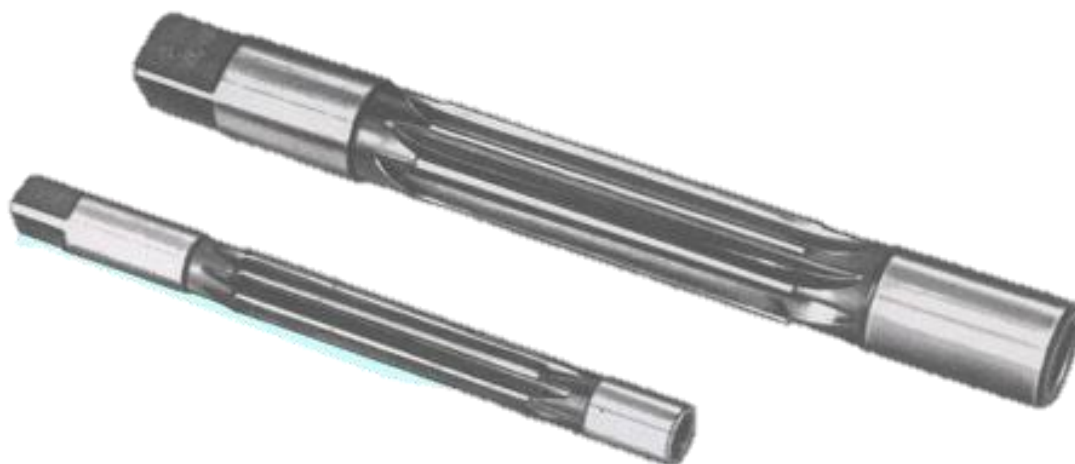


Рисунок 3.4 – Развертки разжимные

Изменение диаметра осуществляется в пределах от 0,15 мм до 0,5 мм. Посредством воздействия шарика на внутреннее коническое отверстие. Для уменьшения усилия регулировки между зубьями прорезаны пазы.

Раздвижная развертка (рисунок 3.5) регулируется за счёт специальных конических пазов, в которых устанавливаются ножи. Ножи фиксируются кольцами и гайками с передней и задней части.





Рисунок 3.5 – Развёртка раздвижная

Развёртки больших диаметров от 25 мм до 100 мм делают насадными – цельными и сборными из быстрорежущей стали и с напайными ножами твёрдого сплава (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Развёртка насадная

Как пример, конструкция ручной цилиндрической развертки представлена на рисунке 3.7.

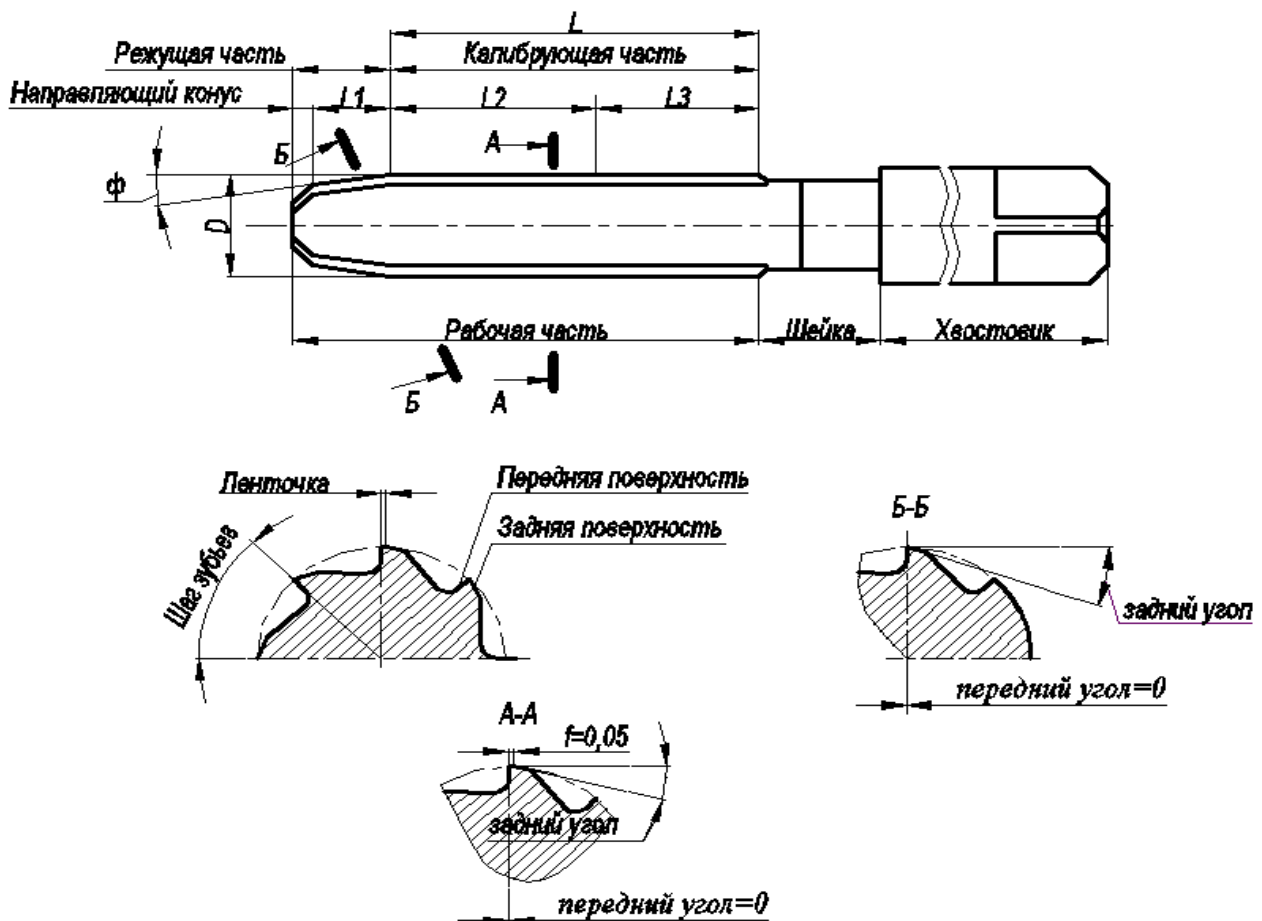


Рисунок 3.7 – Конструкция ручной цилиндрической развёртки

Развёртка делится на рабочую часть, шейку и хвостовик. Рабочая часть состоит из режущего и калибрующего участков. Режущий участок имеет направляющий и заборный конус длиной  $L_1$ . Развёртка срезает припуск на заборном конусе. Калибрующий участок  $L$  делится на два – калибрующего длиной  $L_2$  и обратного конуса, длиной  $L_3$ . Шейка служит переходным участком между рабочей частью и хвостовой. На ней ставится маркировка. Хвостовая часть развертки необходима для крепления.

К основным элементам рабочей части относятся: количество зубьев, их геометрические параметры, диаметр и длина, направление и профиль стружечных канавок, шаг зубьев.

Число зубьев развертки выбирается в зависимости от обрабатываемого материала, диаметра. С увеличением числа зубьев чистота обработки отверстий повышается, однако уменьшается поперечное сечение стружечных канавок, и они могут оказаться недостаточными для свободного размещения и отвода стружки. При большом числе зубьев и небольшой глубине канавок перешлифовка развёрток на меньшие размеры затрудняется. Несмотря на снятие небольших слоёв металла, развёртки имеют относительно небольшое число зубьев от 6 до 14, для целых машинных и ручных разверток диаметром от 3 мм до 50 мм.

Развёртки обычно имеют чётное число зубьев. Это облегчает измерение их диаметра. Положительное влияние на работу развёртки оказывает неравномерное

распределение зубьев по окружности, что способствует гашению вибраций, возникающих при работе, особенно на повышенных режимах резания в условиях недостаточной жёсткости и исключению огранки. Неравномерное расположение делают для диаметральной пары зубьев. Разница в угле между соседними зубьями составляет от  $1^\circ$  до  $5^\circ$ .

Стружечные канавки чаще выполняют прямыми, что упрощает изготовление и контроль. Для обработки прерывистых поверхностей целесообразно применять развёртки с винтовым зубом. Направление канавок делается противоположным направлению вращения для избежания самозатягивания развёртки.

Для предварительного направления развёртки в отверстие делается коротка фаска (направляющий конус с углом  $45^\circ$ ).

Развёртка снимает припуск на заборном конусе с углом  $\phi$ . Это угол между осью развёртки и режущей кромкой, которая при переднем угле, равном нулю, идёт по образующей конуса режущей части. С изменением угла в плане  $\phi$  изменяется соотношение между шириной и толщиной среза, составляющими усилия резания, интенсивность и характер износа инструмента. С увеличением угла заборного конуса растёт осевое усилие, затрудняется продвижение развёртки. Поэтому у ручных разверток угол в плане принимается небольшим, что способствует также плавному входу и выходу развёртки из отверстия. На основе экспериментальных данных для ручных развёрток при обработке сквозных отверстий  $\phi = 1-2^\circ$ .

Машинные развёртки при работе направляются лучше ручных, поэтому длина их режущей части может быть меньшей, а угол в плане большим. При обработке чугуна  $\phi = 4-5^\circ$ , а при обработке стали  $\phi = 12-15^\circ$ .

Длина калибрующей части  $L$  для ручных развёрток составляет от  $4d$  до  $10d$ , где  $d$  – диаметр развёртки, а для машинных от  $2d$  до  $3d$ . Цилиндрический участок  $L_2 = (0,4-0,6)L$ . Участок обратного конуса  $L_3$  имеет занижение диаметра от  $0,01$  мм до  $0,015$  мм. Обратный конус позволяет снизить трение и тем самым не ухудшать шероховатость обработанной поверхности.

Заборная и калибрующая части развёртки различаются формой зуба (рисунок 3.7): на заборной части зуб всегда затачивают на остро, а на калибрующей части зуб заточен таким образом, что он имеет на вершине ленточку шириной  $0,05$  мм. Это обеспечивает калибрование и заглаживание стенки развертываемого отверстия, придавая ему требуемую точность размера и чистоту поверхности. У конических развёрток калибрующая часть отсутствует. Развёртка затачивается по заборному конусу с задним углом от  $5^\circ$  до  $8^\circ$ .

Передний угол развёрток обычно принимается равным нулю, поскольку развёртка работает в зоне малых толщин срезаемого слоя, характер протекания процесса резания зависит главным образом не от переднего угла, а от радиуса закругления режущей кромки. На черновых развёртках и при обработке вязких материалов передний угол делают до  $10^\circ$ .

Диаметр развёртки – важнейший конструктивный элемент, так как в конечном итоге назначение развёртки – дать точное круглое отверстие

определенных размеров. При назначении диаметра развёртки необходимо учитывать разбивку; запас на износ; допуски на изготовление самой развёртки.

Исходными данными для расчёта исполнительных размеров является номинальный диаметр отверстия и его поле допуска. Последовательность расчёта диаметра чистовой развёртки выглядит следующим образом.

1. Рассчитывается максимальный и минимальный диаметры развертываемого отверстия по формулам

$$D_{max} = D + ES, \quad (3.1)$$

где  $D$  – номинальный диаметр отверстия, мм;

$ES$  – верхнее отклонение, мм

$$D_{min} = D + EI, \quad (3.2)$$

где  $EI$  – нижнее отклонение, мм.

2. Рассчитывается максимальный диаметр развёртки по формуле

$$d_{max} = D_{max} - 0,15TD, \quad (3.3)$$

где  $TD$  – допуск на изготовление отверстия,  $TD = ES - EI$ .

3. Рассчитывается минимальный диаметр развёртки по формуле

$$d_{min} = d_{max} - 0,35TD, \quad (3.4)$$

4. Рассчитывается минимальный диаметр изношенной развёртки по формуле

$$d_{изн} = d_{min} - 0,45TD, \quad (3.5)$$

Исполнительные размеры черновой развёртки рассчитываются аналогично, но с учётом припуска под черновое развёртывание. Припуск под развёртывание приведён в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Припуск под развертывание

Припуск	Диаметр отверстия				
	10-20	20-30	30-50	50-80	80-100
Общий припуск под развертывание	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
Черновое развертывание	0,16	0,2	0,24	0,27	0,3
Чистовое развертывание	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1

Хвостовик развёртки предназначен для закрепления инструмента. Его размеры принимаются с учётом диаметра калибрующей части и регламентируются соответствующими стандартами. Соединение рабочей части с хвостовиком осуществляется стыковой сваркой или сваркой трением.

Общая длина развёртки является важным конструктивным элементом, т. к. от неё зависит жёсткость, продольный изгиб развёртки и смещение относительно оси. С учётом этих факторов рекомендуется принимать длину развёртки  $L_p = 5d^{1,33} \varphi^{0,24}$ . В этом случае разбивка отверстия будет составлять 1/10 часть погрешности установки и вращения шпинделя.

Развёртки выпускаются под стандартные поля допусков, а также изготавливаются под заданный размер. Широко применяются в массовом и крупносерийном производстве.

Развёртки используются комплектом из двух или трёх инструментов после зенкерования или растачивания. Припуск под развёртывание должен быть регламентирован. Развёртку закрепляют в плавающем патроне или воротке. Она сама точно устанавливается направляющей частью в обрабатываемом отверстии.

Скорость резания при развёртывании рекомендуется принимать такой, чтобы уйти от наростообразования – от 3 м/мин до 5 м/мин. Подача зависит от обрабатываемости материала и выбирается в пределах от  $0,5 \text{ мм}^{-1}$  до  $1 \text{ мм}^{-1}$ .

#### **Порядок выполнения работы.**

1. Получить у преподавателя развёртку.
2. Получить размер обрабатываемого отверстия с допуском.
3. Начертить расположение поля допуска отверстия.
4. Рассчитать по формулам 1-5 размеры черновой и чистовой развёрток.
5. Выполнить чертёж развёрток.
6. Измерить на микроскопе и микрометром действительный размер инструмента и его геометрические параметры.
7. Сделать вывод о годности полученного инструмента для обработки заданного отверстия.
8. Выполнить расчёт и чертёж чистовой машинной хвостовой развёртки для обработки отверстия в соответствии с таблицей 3.2.

Таблица 3.2 – Варианты выполнения задания

Вариант 1	4 D9	Вариант 26	4 K8
Вариант 2	5 E9	Вариант 27	5 K7
Вариант 3	6 E8	Вариант 28	6 K6
Вариант 4	7 F9	Вариант 29	7 N8
Вариант 5	8 F8	Вариант 30	8 N7
Вариант 6	9 F7	Вариант 31	9 N6
Вариант 7	10 G7	Вариант 32	10 P7
Вариант 8	11 G6	Вариант 33	11 P6
Вариант 9	12 H9	Вариант 34	12 M8
Вариант 10	14 H8	Вариант 35	14 M7

Вариант 11	16 H7	Вариант 36	16 M6
Вариант 12	18 H6	Вариант 37	18 JS7
Вариант 13	20 K8	Вариант 38	20 JS6
Вариант 14	4 K7	Вариант 39	4 D9
Вариант 15	5 K6	Вариант 40	5 E9
Вариант 16	6 N8	Вариант 41	6 E8
Вариант 17	7 N7	Вариант 42	7 F9
Вариант 18	8 N6	Вариант 43	8 F8
Вариант 19	9 P7	Вариант 44	9 F7
Вариант 20	10 P6	Вариант 45	10 G7
Вариант 21	11 M8	Вариант 46	11 G6
Вариант 22	12 M7	Вариант 47	12 H9
Вариант 23	14 M6	Вариант 48	14 H8
Вариант 24	16 JS7	Вариант 49	16 H7
Вариант 25	18 JS6	Вариант 50	18 H6

### **Контрольные вопросы.**

1. Для чего предназначена развёртка?
2. Из каких частей состоит развёртка?
3. Какие типы развёрток бывают?
4. Как работает развёртка?
5. Для чего нужен плавающий патрон?
6. С какой целью делают разность торцовых шагов зубьев развёртки?
7. Сколько градусов передний угол у развёртки?
8. Почему рабочая часть машинной развёртки короче чем у ручной?
9. Чему равен припуск под развёртывание?
10. Зачем используется комплект развёрток?

## Библиографический список

1. ГОСТ 29240–91. «Развертки. Термины, определения и типы».
2. ГОСТ 11173-76. «Развертки с припуском под доводку. Допуски».
3. ГОСТ 7722–77. «Развертки ручные цилиндрические. Конструкция и размеры». Чертежи ручных разверток.
4. ГОСТ 3509-71. «Развертки ручные разжимные. Конструкция и размеры».
5. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. Под ред. проф. П.Г. Петрухи. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1974. – 616 с.
6. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент: Справочник / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Н.И. Жигалко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск : Выш. Школа, 1981. – 560 с.
7. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник. / В.С. Самойлов, Э.Ф. Эйхманс, В.А. Фальковский и др. – Москва : Машиностроение, 1988. – 368 с.
8. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филлипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
9. Справочник конструктора-инструментальщика: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. – Москва : Машиностроение, 1994. – 560 с.
10. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 1: учебник для среднего профессионального образования / А.Г. Схиртладзе [и др.]; под общей редакцией Н.А. Чемборисова. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 263 с.
11. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 2: учебник для вузов / С.Н. Григорьев [и др.]; под общей редакцией Н.А. Чемборисова. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 246 с.
12. Проектирование режущих инструментов: Учебное пособие / В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, И.А. Коротков, А.Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 300 с.
13. Формообразующие инструменты машиностроительных производств. Инструменты общего назначения: учебник / В.А. Гречишников, А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин и др. – 3-е издание перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 432 с.
14. Атаманов, С.А. Допуски и посадки: учебно-методическое справочное пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов инженерно-технических специальностей / С.А. Атаманов, В.Ф. Гнидо, И. Г. Панков, А.Г. Схиртладзе. – Рязань: РИ (ф) МГОУ, 2011. – 160 с.
15. Киреев, Г.И. Проектирование метчиков и круглых плашек: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 107 с.

Учебное издание

**Аверин Николай Витальевич,  
Чернышев Алексей Дмитриевич**

## **РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Тираж 5 экз.  
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета  
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53