

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»**

**М. И. Михайлов, Д. В. Кириленко**

## **РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

### **ПРАКТИКУМ**

**по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-36 01 03 «Технологическое  
оборудование машиностроительного производства»  
дневной формы обучения**

**Гомель 2017**

УДК 621.9.01(075.8)  
ББК 30.613я73  
М69

*Рекомендовано научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 10 от 13.06.2016 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Гидропневмоавтоматика» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *Д. Л. Стасенко*

**Михайлов, М. И.**

М69 Резание материалов : практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» днев. формы обучения / М. И. Михайлов, В. П. Кириенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 47 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Описаны методика проведения лабораторных работ и используемое оборудование. Рассмотрены геометрические параметры режущих инструментов, физические процессы в зоне резания и др. Изложены методы математической обработки результатов экспериментов.

Для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной формы обучения.

УДК 621.9.01(075.8)  
ББК 30.613я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2017

## Лабораторная работа 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Освоить понятия общих элементов и геометрических параметров инструмента и закрепить их практически.
2. Научиться измерять линейные размеры и геометрические параметры инструмента, выполнять эскизы и чертежи режущего инструмента.
3. Ознакомиться со средствами измерения геометрических параметров.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение определение элементов и геометрических параметров инструмента.
2. Нахождение элементов и геометрических параметров на натуральных образцах различных видов инструмента (инструменты выдаются преподавателем).
3. Измерение основных линейных размеров и углов лезвия данного инструмента с отражением их значений в отчете.
4. Выполнение эскиза данного инструмента с простановкой на нём линейных размеров и углов по установленным правилам.
5. Выполнение рабочего чертежа данного инструмента по эскизу.

#### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Припуск с заготовки в процессе резания удаляется лезвием инструмента, т.е. его клинообразным остриём. Лезвие включает в себя переднюю и заднюю режущие поверхности, режущую кромку и вершину. Степень остроты лезвия и его форма определяются углами лезвия.

Передней поверхностью  $A_\gamma$  инструмента называется поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания со стружкой. Задней поверхностью  $A_\alpha$  называется поверхность лезвия, контактирующая с поверхностями заготовки. Режущей кромкой  $K$  называется кромка, образуемая пересечением передней и задней поверхностей. Точка или участок режущей кромки, имеющие максимальное проникновение под отделяемый слой, называются вершиной лезвия  $B$ .

Режущие кромки и задние поверхности инструмента могут быть главными и вспомогательными. Главной режущей кромкой  $K$  принято называть режущую кромку или её участок, осуществляющие удаление слоя заготовки (припуска), вспомогательной кромкой  $K'$  - участок режущей кромки, обеспечивающий зачистку обработанной поверхности. Участок режущей кромки, находящийся в непосредственном контакте с удаляемым

слоем заготовки (припуском), называется рабочим участком режущей кромки. Любую точку, выбранную на режущей кромке для анализа в её окрестности процесса резания, будем называть рассматриваемой точкой режущей кромки, и обозначать для единообразия буквой  $M$ . Главной задней поверхностью  $A_\alpha$ , считается тот участок задней поверхности, который примыкает к главной режущей кромке, вспомогательной задней поверхностью  $A'_\alpha$  - участок задней поверхности, примыкающий соответственно к вспомогательной режущей кромке. Отдельные виды инструментов могут не иметь вспомогательной режущей кромки, а, следовательно, и вспомогательной задней поверхности, главная же режущая кромка и главная задняя поверхности присутствуют всегда на всех инструментах. Перечисленные элементы лезвия на некоторых инструментах показаны на рис.1.1.

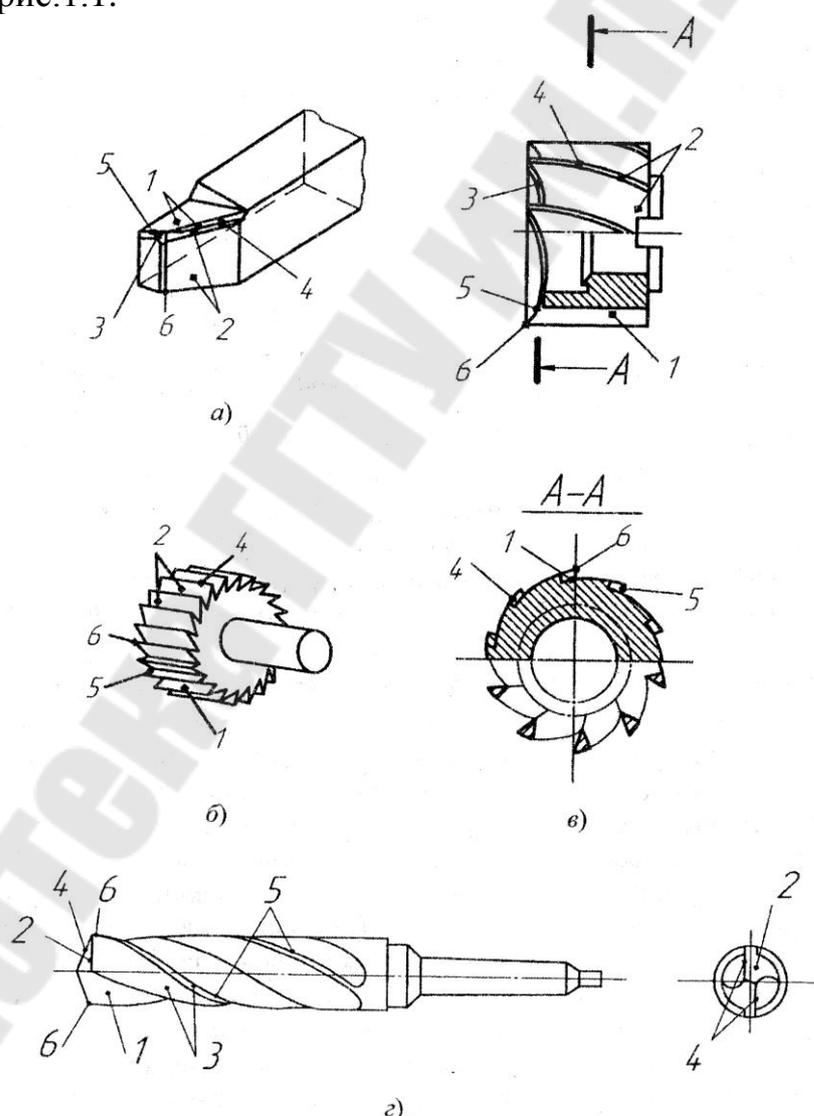


Рис.1.1. Элементы токарного проходного резца (а), угловой концевой фрезы (б), периферийно-торцевой фрезы (в) и винтового сверла (г): 1 – передняя поверхность  $A_\gamma$ ; 2– главная задняя поверхность  $A_\alpha$ ; 3 – вспомогательная задняя поверхность  $A'_\alpha$ ; 4 – главная режущая кромка  $K$ ; 5 – вспомогательная режущая кромка  $K'$ ; 6 – вершина лезвия  $B$ .

Расположение режущих кромок в пространстве определяет особенности режущего лезвия и оценивается относительно специальной системы координатных плоскостей и рабочей плоскости (рис. 1.2.):

- основная плоскость  $P_v$ ;
- плоскость резания  $P_n$ ;
- главная секущая плоскость  $P_\tau$  и
- рабочей плоскости.

В зависимости от конкретной необходимости применяется три варианта систем координатных плоскостей: кинематическая, статическая и инструментальная.

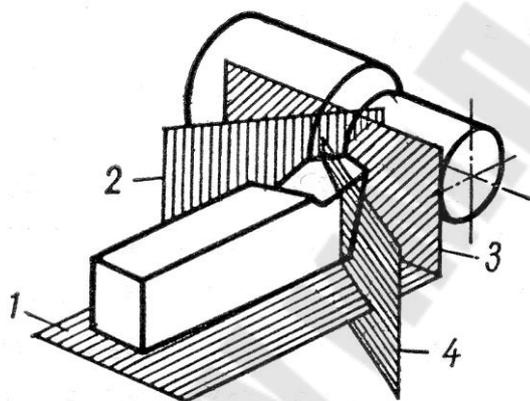


Рис. 1.2. Координатные плоскости в статической системе координат: 1- основная плоскость  $P_v$ ; 2- плоскость резания  $P_n$ ; 3- рабочая плоскость  $P_s$ ; 4 – главная секущая плоскость  $P_\tau$

Статическая система координатных плоскостей имеет начало в рассматриваемой точке режущей кромки и ориентирована относительно направлении скорости главного движения резания, кинематическая – относительно направления скорости результирующего движения резания, инструментальная – относительно элементов режущего инструмента, принятых за базу.

Координатные плоскости в статической системе координат имеют следующие определения:

- основная плоскость статическая (установочная)  $P_{vc}$  - это плоскость, проходящая через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного движения резания (скорости резания).

- плоскость резания статическая (установочная)  $P_{nc}$  - это плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой её точке и содержащая направление скорости главного движения резания (скорости резания). Плоскость резания может быть также определена как плоскость, касательная к поверхности главного движения в рассматриваемой точке режущей кромки, что в сущности то же самое.

Под поверхностью главного движения  $R_r$  понимается поверхность, описываемая режущей кромкой инструмента в главном движении резания.

- главная секущая плоскость статическая (установочная)  $R_{\tau c}$  - это плоскость, проходящая через направления скорости главного движения резания (скорости резания) и нормали к поверхности главного движения в рассматриваемой точке режущей кромки.

Расположение координатных плоскостей в статической системе для некоторых наиболее распространённых видов обработки показано на рис.1.3 следами плоскостей и их участками.

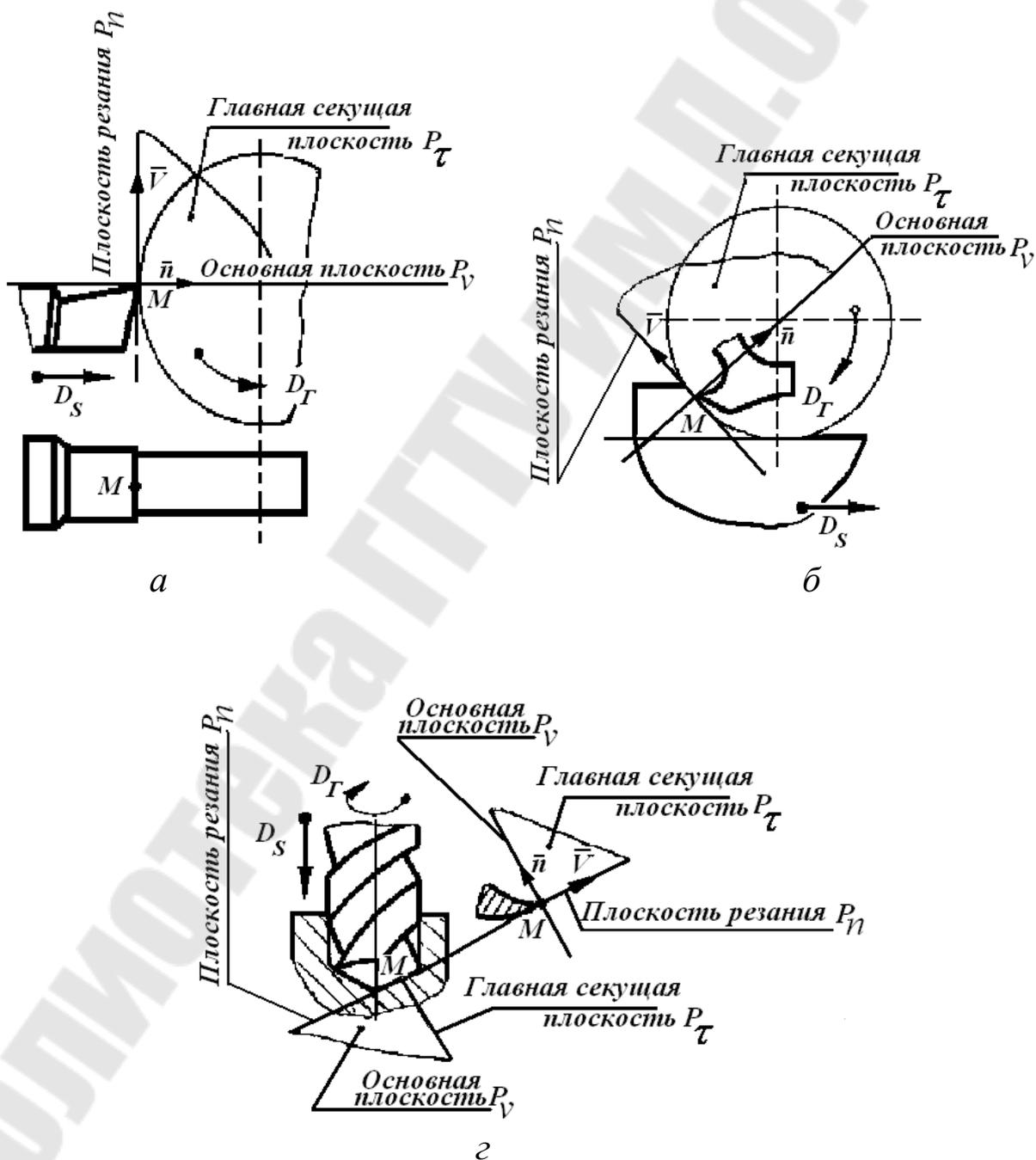


Рис.1.3. Координатные плоскости статической системы координат на примерах поперечного точения (а), периферийного фрезерования (б) и сверления (в)

Рабочая плоскость  $P_s$  – это плоскость, проходящая через рассматриваемую точку режущей кромки, в которой расположены направления скоростей главного движения и движения подачи. На рис. 1.4.

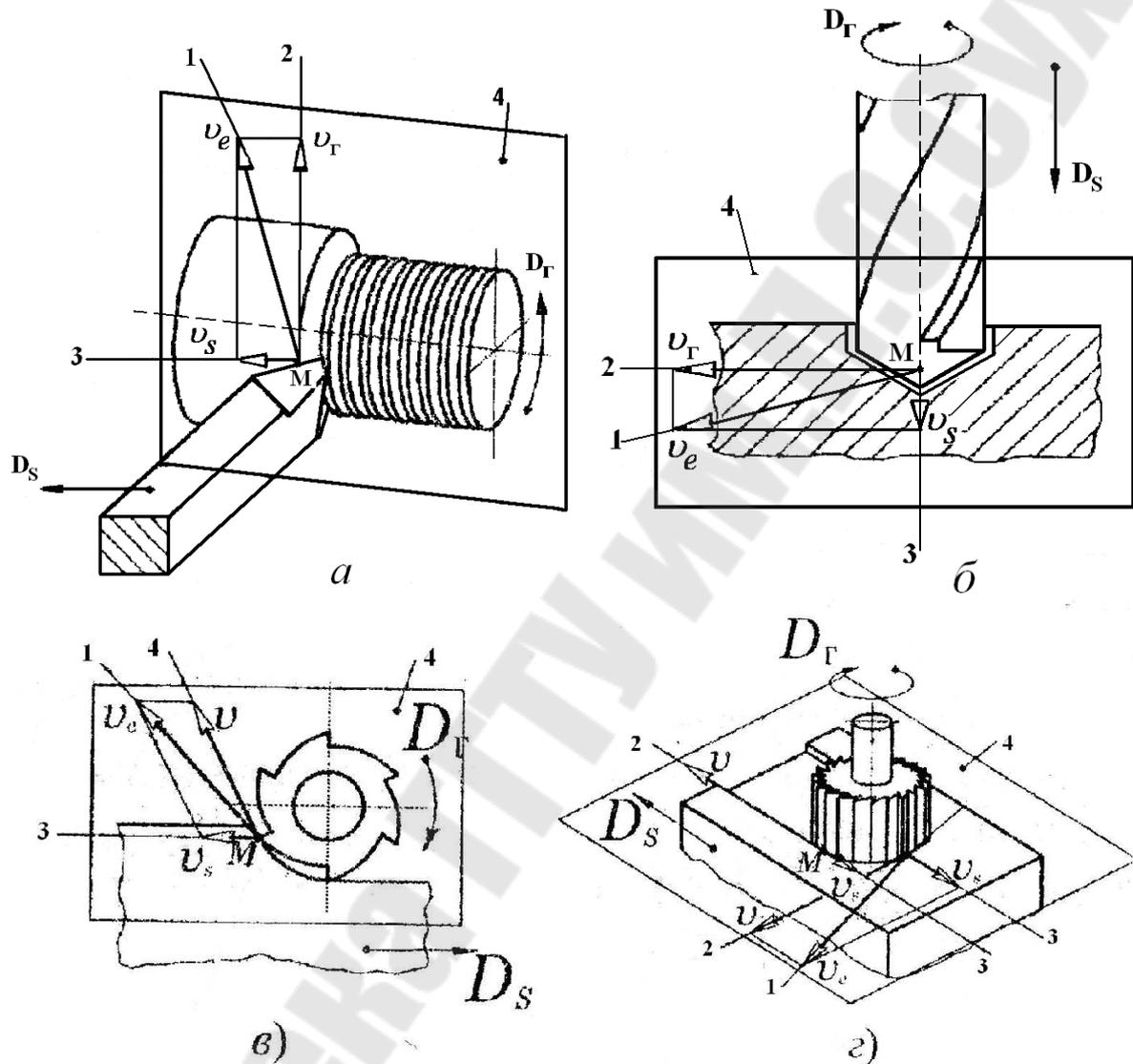


Рис. 1.4. Примеры расположения рабочей плоскости  $P_s$ : а) продольное точение; б) сверление; в) фрезерование дисковой фрезой; г) фрезерование плоскости; 1 – направление вектора скорости результирующего движения резания  $V_e$ ; 2 – направление вектора скорости главного движения резания  $V_r$ ; 3 – направление движения подачи  $V_s$ ; 4 – рабочая плоскость  $P_s$

Углы лезвия рассматриваются в координатных плоскостях и имеют следующие названия, обозначения и определения (рис. 1.5):

- передний угол  $\gamma$  – это угол в секущей плоскости между передней поверхностью и основной плоскостью;
- задний угол  $\alpha$  – это угол в секущей плоскости между задней поверхностью и плоскостью резания;

– угол заострения  $\beta$  – это угол в секущей плоскости между передней и задней поверхностями;

– угол резания  $\delta$  – это угол в секущей плоскости между передней поверхностью и плоскостью резания;

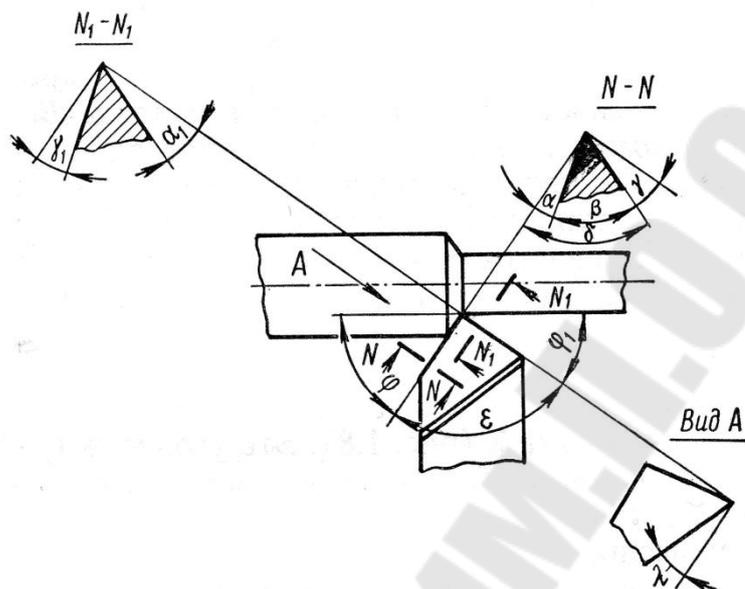


Рис. 1.5. Геометрические параметры реза

– угол в плане  $\varphi$  – это угол в основной плоскости между плоскостью резания и осью OX технологической системы координат (рис.1.6);

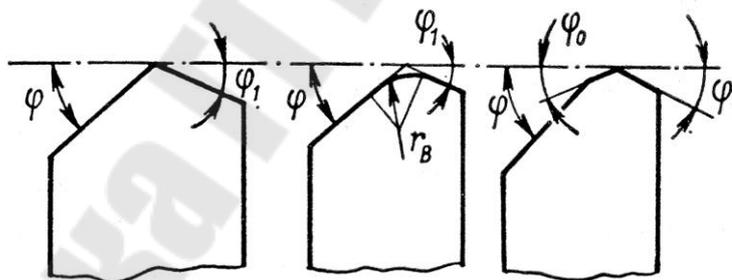


Рис. 1.6. Угол в плане. Виды сопряжений главной и вспомогательные режущей кромок

– угол при вершине  $\epsilon$  – это угол в основной плоскости между плоскостями резания двух сопрягающихся в вершине режущих кромок;

– угол наклона кромки  $\lambda$  – это угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью (рис. 1.7).

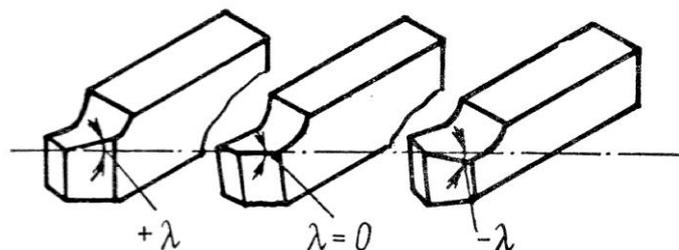


Рис. 1.7. Угол наклона режущей кромки реза

Все перечисленные углы и их расположение в соответствующих координатных плоскостях статической системы представлены на рис.1.5 на примере проходного резца как наиболее представительного инструмента (показаны углы только на главной режущей кромке).

В зависимости от принадлежности к главной или вспомогательным режущим кромкам углы лезвия делятся на главные и вспомогательные.

Два из названных семи углов могут иметь наряду с положительными также и отрицательные значения – передний угол  $\gamma$  и угол наклона кромки  $\lambda$ . Передний угол считается положительным в том случае, когда передняя поверхность в сечении секущей плоскостью оказывается ниже основной плоскости и, соответственно, наоборот. Угол же наклона кромки  $\lambda$  (главный) положителен тогда, когда режущая кромка располагается выше основной плоскости. При расположении режущей кромки в том же виде ниже основной плоскости угол  $\lambda$  отрицателен. Что касается вспомогательного угла наклона  $\lambda'$ , то принцип выбора знака в этом случае должен, по-видимому, быть обратным по отношению к главному углу  $\lambda$ .

Между углами в основной и в главной секущей плоскостях имеют место вполне очевидные соотношения (см. рис.1.4):

$$\varphi + \varphi' + \varepsilon = 180^\circ, \quad (1)$$

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ,$$

$$\gamma + \delta = 90^\circ,$$

$$\beta + \alpha = \delta.$$

Каждый из углов лезвия оказывает на процесс резания до некоторой степени своеобразное физическое влияние. Рассмотрим, как изменяются основные показатели процесса резания при изменении (например, при увеличении) каждого из углов.

С увеличением переднего угла  $\gamma$  облегчается процесс стружкообразования, уменьшается усадка стружки и относительный сдвиг, увеличивается угол скалывания, снижается трение стружки о переднюю поверхность инструмента, снижается шероховатость обработанной поверхности и улучшается качество обработки, уменьшаются сила, мощность, и выделяющаяся теплота резания, но ослабляется лезвие, снижается его прочность, появляются возможности выкрашивания режущей кромки, уменьшается теплоотвод в тело инструмента.

Увеличение заднего угла  $\alpha$  снижает трение заготовки о заднюю поверхность инструмента, уменьшает деформацию обработанной поверхности, наклёп и остаточные напряжения, уменьшает также теплоту трения по задней поверхности и износ инструмента, снижает шероховатость обработанной поверхности. Вместе с тем большие задние углы снижают прочность лезвия и способствуют выкрашиванию режущей кромки.

Углы заострения  $\beta$  и резания  $\delta$  на показатели процесса резания влияют через смежные с ними углы  $\gamma$  и  $\alpha$ .

Угол в плане  $\varphi$  при своём увеличении (при точении) приводит к уменьшению ширины срезаемого слоя с одновременным увеличением толщины срезаемого слоя, что способствует некоторому снижению главной составляющей силы резания  $P_z$ . Кроме того, с увеличением угла  $\varphi$  увеличивается осевая сила  $P_x$  и уменьшается радиальная сила  $P_y$ , увеличивается шероховатость обработанной поверхности, уменьшаются отжим нежёсткой детали и вибрации, повышается точность обработки, уменьшаются наклёп поверхностного слоя и остаточные напряжения, ухудшается теплоотвод в тело инструмента и увеличивается нагрев лезвия, снижается прочность лезвия, увеличивается износ инструмента и падает его стойкость. Угол  $\varphi$  изменяет также показатели стружкообразования через изменение параметров срезаемого слоя.

Угол наклона кромки  $\lambda$  в интервале наиболее употребительных значений (-15 ...+15) не оказывает относительно большого влияния на показатели процесса резания. Знак угла  $\lambda$  определяет направление схода стружки из зоны обработки: при точении, например, инструментом с положительным углом  $\lambda$  стружка движется в сторону обработанной поверхности, при отрицательном же – в сторону обрабатываемой поверхности заготовки. Этим обстоятельством умело пользуются на практике для отвода стружки в нужном направлении и для её устойчивого принудительного ломания о поверхность заготовки. Кроме того, при работе с ударной нагрузкой, например, при обточке шлицевого вала, при торцовом фрезеровании, при строгании и т.д., угол должен быть положительным, что обеспечивает режущей кромке удар не в вершине лезвия, а на некотором удалении от неё. Это позволяет увеличить стойкость инструмента.

## ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В лабораторной работе измерение основных линейных размеров инструмента осуществляется штангенциркулем, а углов лезвия – угломерами. Для определения углов в главной секущей плоскости и в плоскости резания используются специальные угломеры, а в основной плоскости – универсальный угломер.

Измерению подлежат передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ , угол наклона кромки  $\lambda$ , угол в плане  $\varphi$  как на главной, так и на вспомогательной режущих кромках. Остальные углы, а именно углы  $\beta$ ,  $\delta$  и  $\varepsilon$  определяются расчётам по формулам (1). Численные значения углов лезвия заносятся в протокол измерений.

а) Измерение углов резца.

Измерение углов резца осуществляется с помощью резцовым угломером (рис.1.8), который состоит из штатива и поворотного подвижного измерителя. Штатив имеет основание 1 в виде плиты с базовой верхней

плоскостью для установки на неё резца в позицию измерения и стойку 2 для поворота и осевого перемещения измерителя при настройке угломера. Измеритель состоит из цельного или сборного корпуса 3 с угловой шкалой 4, поворотного измерительного флажка 5 с осью, зажимным винтом и гайкой, общего стопорного винта 6.

Флажок в своей нижней части имеет прямоугольный вырез с узкими площадками на сторонах выбранного угла, служащими для соприкосновения в процессе измерения с соответствующими элементами лезвия резца. Горизонтальная площадка соприкасается при измерении угла  $\gamma$  с передней поверхностью, а при измерении угла  $\lambda$  - с режущей кромкой. Вертикальная площадка флажка соприкасается при измерении угла  $\alpha$  с задней поверхностью инструмента. Верхняя часть флажка выполнена в форме стрелки – указателя значений углов.

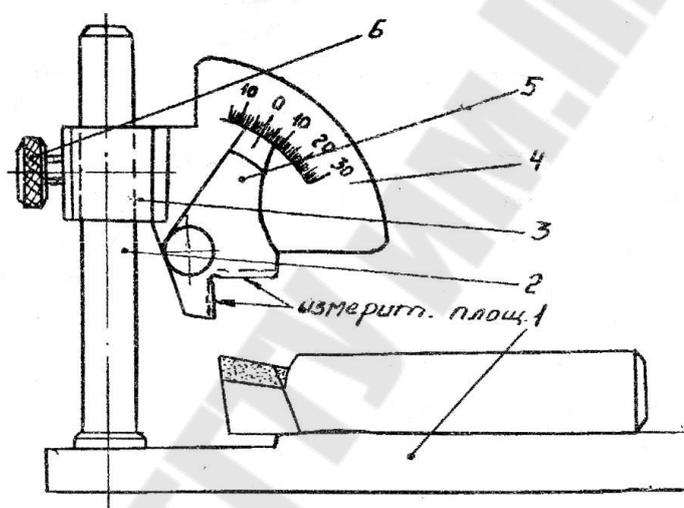


Рис.1.8. Резцовый угломер

Перед измерением углов  $\gamma$  и  $\alpha$  измеритель угломера и резец устанавливаются относительно друг друга таким образом, чтобы плоскость флажка совпала с предполагаемой главной секущей плоскостью на резце в выбранной точке режущей кромки. Это легко выполняется в том случае, если на передней и задней поверхностях резца карандашом или мелом нанести следы главной секущей плоскости. След её на передней поверхности проводят, смотря на резец сверху (на основную плоскость), в виде линии, перпендикулярно режущей кромке на этом виде, т.е. фактически перпендикулярно проекции кромки на основную плоскость. Линию следа главной секущей плоскости на задней поверхности проводят, смотря на резец со стороны плоскости резания, в перпендикулярном направлении к плоскости основания державки резца.

Резец устанавливают плоскостью основания державки на основание угломера, поворачивают корпус измерителя так, чтобы флажок расположился поперёк режущей кромки. Затем узкие площадки прямоугольного выреза флажка поочередно соприкасают без зазора по

линиям на передней (горизонтальная площадка) и задней (вертикальная площадка) поверхностях резца и снимают показания соответственно переднего (рис.1.9, а) и заднего (рис.1.9, б) углов. При этом для выбора наиболее удобной позиции измерения нужно несколько передвигать резец в плоскости основания и перемещать измеритель вдоль вертикальной стойки.

При измерении угла наклона кромки резец и измеритель устанавливают относительно друг друга так, чтобы плоскость измерительного флажка прошла вдоль режущей кромки, т.е. заняла бы положение плоскости резания. Затем горизонтальную узкую площадку флажка кладут на режущую кромку без зазора и определяют значение угла  $\lambda$  (рис.1.9, в).

Измерение угла в плане  $\varphi$  не требует специальных пояснений и выполняется так, как показано на рис.1.9, г.

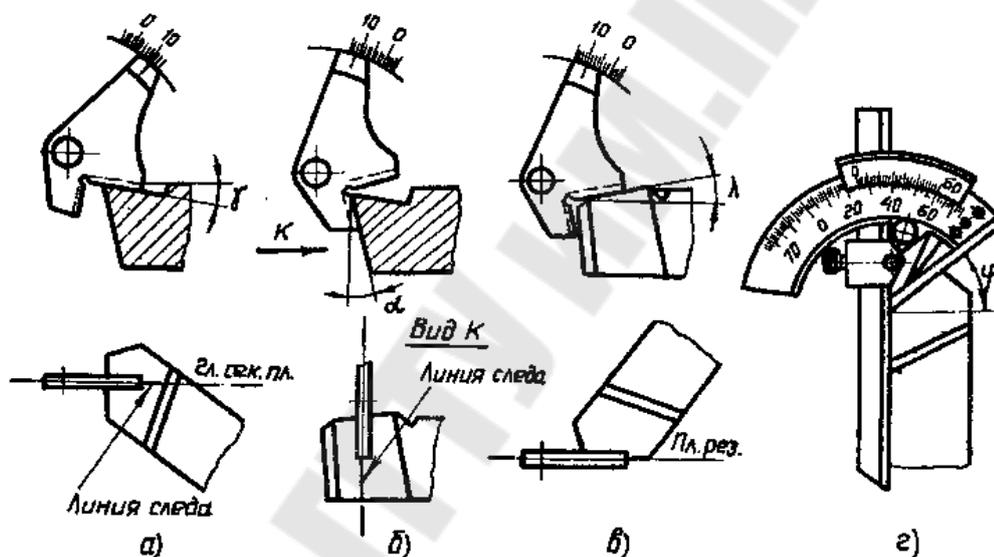


Рис.1.9. Схемы измерения переднего угла  $\gamma$  (а), заднего угла  $\alpha$  (б), угла наклона кромки  $\lambda$  (в) и угла в плане  $\varphi$  (г)

б) Измерение углов любого инструмента (рис. 1.10).

Для измерения углов на любом режущем инструменте в настоящее время не создано единого угломера. Так для многолезвийного инструмента (фрез, развёрток и т.д.) применяются угломеры Бабчиничера, для свёрл и некоторых других инструментов – стрелочные индикаторные приборы. Для многих же инструментов угломеры не разработаны вообще и измерение углов при необходимости производится любыми возможными и доступными способами.

В данной лабораторной работе используется единый способ измерения углов любого инструмента и единый специальный угломер, предложенные автором. Суть способа состоит в том, что для измерения основных углов, т.е. углов  $\gamma$ ,  $\alpha$  и  $\lambda$ , режущий инструмент независимо от его вида, конфигурации и назначения с помощью специального штатива или держателя должен быть

установлен в строго фиксированную позицию измерения. В этой измерительной позиции контролируемое лезвие инструмента своей передней поверхностью должно быть обращено вверх, а воображаемое направление вектора скорости резания (скорости главного движения) в выбранной для измерения точке режущей кромки инструмента должно принять строго вертикальное положение. Вертикальность положения вектора скорости главного движения у инструментов типа тел вращения, совершающих главное вращательное движение, обеспечивается с помощью рейсмуса (штангенрейсмуса) путём расположения контролируемой точки режущей кромки инструмента на уровне оси инструмента. Примеры установки различных режущих инструментов в позицию измерения показаны на рис.1.10.

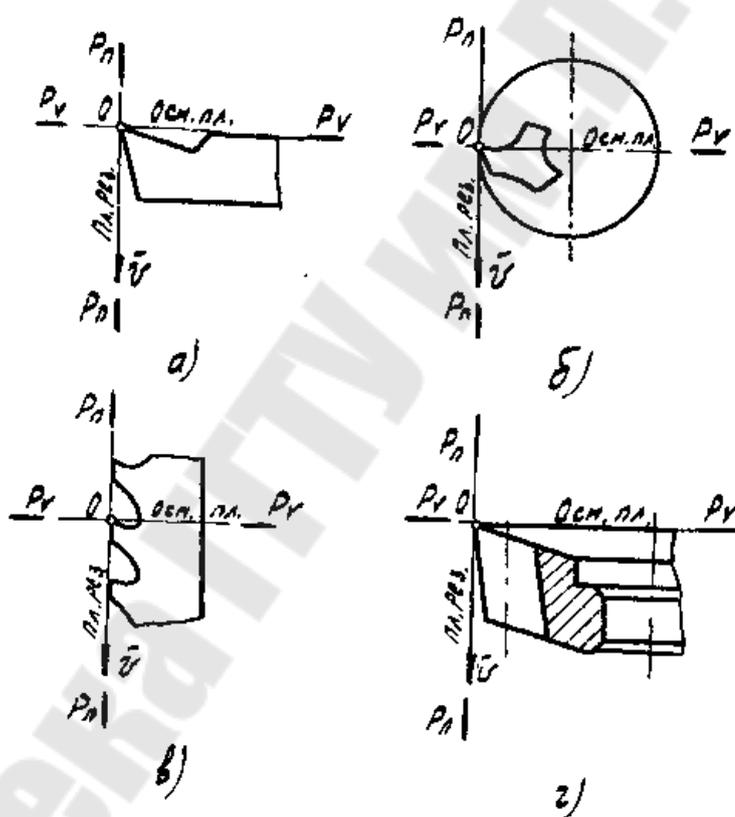


Рис.1.10. Установка в позицию измерения: резца (а), фрезы (б), протяжки (в) и долбяка (г)

Измерение углов  $\gamma$ ,  $\alpha$  и  $\lambda$  на любом инструменте производится с помощью единого специализированного угломера на штативе, спроектированного и изготовленного на кафедре. Внешний вид этого угломера и принцип пользования им аналогичны выше описанному резцовому угломеру.

Напомним, что рассмотренная методика измерения даёт значения углов инструмента в статической координатной системе.

## СТРУКТУРА ОТЧЁТА

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Эскиз инструмента в трёх проекциях с видом на режущую кромку и необходимыми сечениями.
5. Выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель работы?
2. Назовите элементы лезвия инструмента и дайте их определения?
3. Какие координатные системы используются для определения углов лезвия и в чём их принципиальное различие?
4. Дайте определения координатных плоскостей?
5. Перечислите углы лезвия и дайте их определения?
6. Как влияют углы лезвия на процесс резания?
7. Как производится измерение углов?

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

В современном машиностроительном производстве используются сетки различных разновидностей обработки резанием, в каждой из которых применяются десятки разнообразных конструктивных исполнений режущих инструментов. Всё это обуславливает огромное множество различных вариаций процесса резания. Вместе с тем в настоящее время в условиях интенсивного проникновения вычислительной техники в производстве (станки с числовым программным управлением и роботы) и в инженерную практику (системы автоматизированного проектирования – САПР) инженер-технолог, связанный с обработкой резанием, должен обладать умением быстро ориентироваться в этом множестве вариаций обработки и инструмента, чётко выделять их отличительные и общие признаки, знать преимущества каждого и выбирать оптимальные условия его использования. Всё это возможно при условии достаточно хорошего знания основных принципов классификации разновидностей обработки резанием и инструмента.

Практическое освоение системы классификации разновидностей обработки резанием и всей системы понятий кинематики резания является главной задачей выполняемой лабораторной работы.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить основные понятия кинематики резания.
2. Произвести исследование кинематических особенностей разновидностей резания и нанести на эскизы видов обработки все основные кинематические элементы и параметры, изобразить кинематические схемы этих видов.

### 1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение понятий, терминов, определений и обозначений всех кинематических характеристик процесса резания согласно ГОСТ 25762-83.
2. Изучение классификации разновидностей обработки резанием на кинематической основе согласно стандарта ГОСТ 25761-83.
4. Проведение кинематического анализа заданных (задается преподавателем) разновидностей обработки резанием с определением их названий и нахождением всех кинематических характеристик этих разновидностей (по приведённому ниже перечню), изображением их кинематических схем резания, установлением развёрнутых наименований режущих инструментов, отысканием всех их элементов и углов и т.д.

5. Выбор и описание элементов технологической системы обработки для заданных разновидностей резания согласно заданному варианту (приведены в приложении) варианта конструктивного исполнения инструмента, марки инструментального материала и рекомендуемых литературой значений основных углов лезвия, элементов режима резания (согласно разделу 2 п.3).

## 2. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Изучение вопросов кинематики резания по рекомендуемой литературе: понятий, терминов, определение и обозначений основных кинематических характеристик процесса резания, системы классификации разновидностей обработки резанием и принципов их идентификации.

2. Кинематическое исследование заданных преподавателем разновидностей обработки резанием, заключающееся в выявлении всех их кинематических характеристик (по нижеприведённому перечню действий) и отражение их в отчёте путём письменных ответов на пункты перечня, вычерчивание кинематической схемы резания и траектории резания рассматриваемой точки режущей кромки инструмента и нанесение всех характеристик (по перечню) на эскизы заданных разновидностей обработки резанием.

Перечень действий по выявлению кинематических характеристик:

- определение вида и характера всех указанных на эскизах движений резания;
- установление названий методов и способов резания на основе изученной системы классификации;
- выделение главных кинематических и других особенностей заданных методов и способов резания;
- определение положений в двух видах и направлений координатных осей технологической системы координат;
- установление положения в двух видах координатных плоскостей статической системы координат;
- определение вида и типа заданных на эскизах режущих инструментов;
- отыскание всех элементов лезвий режущих инструментов с определением формы и количества каждого из них отдельно по главным и вспомогательным элементам.
- нахождение рабочего участка рассматриваемой режущей кромки;
- определение основных режущих углов лезвий инструмента и оценка их знаков;
- нахождение обрабатываемой и обработанной поверхностей с установлением их вида, формы и основных характеристик;
- нахождение положения рабочей плоскости, угла подачи и угла скорости резания;

- изображение схемы срезания припуска;
- определение глубины резания, сечение срезаемого слоя и его размеров.

На эскизах заданных разновидностей обработки обозначаются все указанные движения резания, проводятся и обозначаются координатные оси технологической системы координат, указывается стрелками и обозначается поверхность резания (поверхность главного движения), проводятся в обоих видах и обозначаются направляющие векторы поверхности резания с учётом установленных их положительных направлений, изображаются в обоих видах координатные плоскости статической системы координат, указываются стрелками в обоих видах и обозначаются все элементы лезвия инструмента отдельно по главным и вспомогательным его элементам, выделяется и обозначается буквами А и В рабочий участок рассматриваемой режущей кромки, принимая точку В за вершину, выполняется сечение лезвия главной секущей плоскостью и даётся местный вид по стрелке С на лезвие со стороны плоскости резания с простановкой основных углов лезвия с учётом их знаков, указываются стрелками и обозначаются словами обрабатываемая и обработанная поверхности заготовки, проводится следами и обозначается рабочая плоскость, проставляются и обозначаются угол подачи и угол скорости резания, указывается и обозначается глубина резания, изображается сечение срезаемого слоя и проставляются его размеры.

3. Выбор элементов технологической системы обработки и условий практической реализации заданных разновидностей резания: выбор марки инструментального материала, придание конкретных значений основным углам лезвия инструмента, назначение элементов режима резания.

## Лабораторная работа 3

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ДЕФОРМАЦИИ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Освоить и закрепить практически основные положения теории стружкообразования.
2. Ознакомиться с методами определения деформации срезаемого слоя и их количественными значениями.
3. Исследовать зависимости деформации срезаемого слоя от параметров режима резания и режущих инструментов.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определение вида стружки при обработке.

В зависимости от физико-механических и теплофизических свойств обрабатываемого материала, а также от применяемых режимов резания и передних углов инструмента, в процессе стружкообразования могут быть получены различные виды стружки (рис. 3.1). Различают три основных вида стружки: сливную, элементную и надлома. Каждый из указанных видов стружки характеризуется степенью деформирования и определённой внутренней связью отдельных её параметров.

Сливная стружка (рис. 3.1,*а*) состоит из слабо заметных и тесно связанных между собой элементов. Элементная стружка (рис. 3.1,*б*) имеет резко выраженные периодически повторяющиеся и сдвинутые относительно друг друга элементы.

Сливная и элементная стружки получаются при обработке пластичных материалов. Углеродистые и легированные конструкционные стали при практических режимах резания более склонны к образованию сливной стружки. При резании жаропрочных сталей и сплавов, в особенности титановых сплавов, в широком диапазоне применяемых режимов резания образуется элементная стружка.

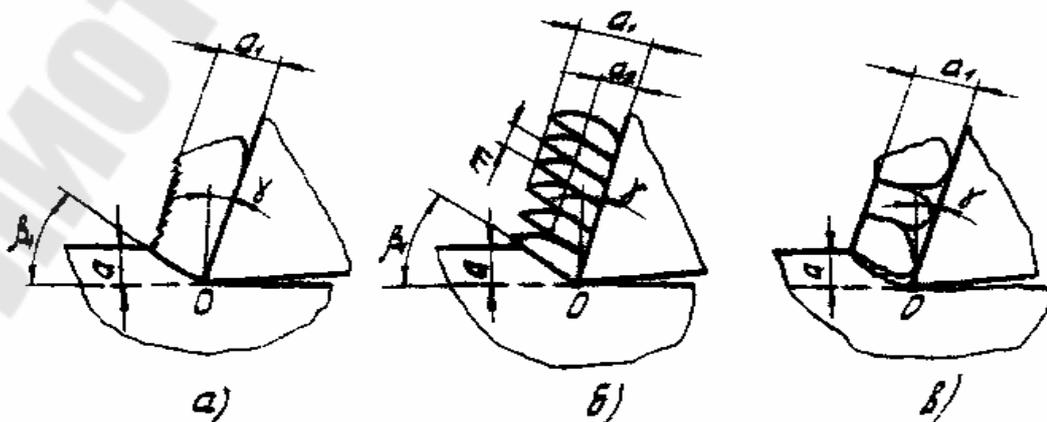


Рис. 3.1. Виды стружки: *а* – сливная; *б* – элементная; *в* – надлома

Стружка надлома (рис. 3.1, в) получается, как правило, при обработке малопластичных (хрупких) металлов с пониженным сопротивлением разрыву, таких, как чугун, бронза и др. Она состоит из неправильных и нередко не связанных между собой элементов, имеющих шероховатую приконтактную поверхность.

Сливная и элементная стружки могут быть получены при обработке одного и того же материала, но при разных условиях резания. Увеличение скорости резания и переднего угла, а также уменьшение толщины срезаемого слоя, способствуют переходу стружки от элементной к сливной.

Рассмотрение сливной и элементной стружек и более глубокое изучение процесса их формирования показывают, что между ними имеет место, скорее количественное различие, чем качественное. В общих случаях основным фактором, определяющим структуру стружки, является пластическая деформация обрабатываемого материала.

## 2. Выполнение экспериментов на станке.

Выполнение серий опытов на станке (по 4 опыта в каждой серии) для получения стружки при изменении элементов режима резания (глубины резания  $t$ , подачи  $S$  и скорости резания  $v$ ) и параметров резца (угла в плане  $\phi$  и переднего угла  $\gamma$ ). Измерение основных параметров стружки для определения усадки и относительного сдвига и занесение результатов измерений в протокол (бланк протокола к работе прилагается). Определение коэффициентов усадки и относительного сдвига и занесение результатов в протокол.

## 3. Обработка результатов эксперимента.

Для оценки степени пластической деформации срезаемого слоя используют две характеристики: коэффициент усадки стружки и относительный сдвиг. Более точной физической характеристикой является относительный сдвиг, так как процесс резания, как и всякий процесс пластической деформации, имеет сдвиговую природу.

*Коэффициент усадки стружки.* В процессе резания конкретные размеры стружки, а иногда и форма её поперечного сечения, отличаются от соответствующих размеров срезаемого слоя. Длина образовавшейся стружки  $l_1$  (рис.2) получается обычно короче пути  $l$ , пройденного резцом по траектории резания, а толщина стружки  $a_1$  и её ширина  $b_1$  - больше толщины и ширины срезаемого слоя  $a$  и  $b$ . Такое явление называется усадкой стружки.

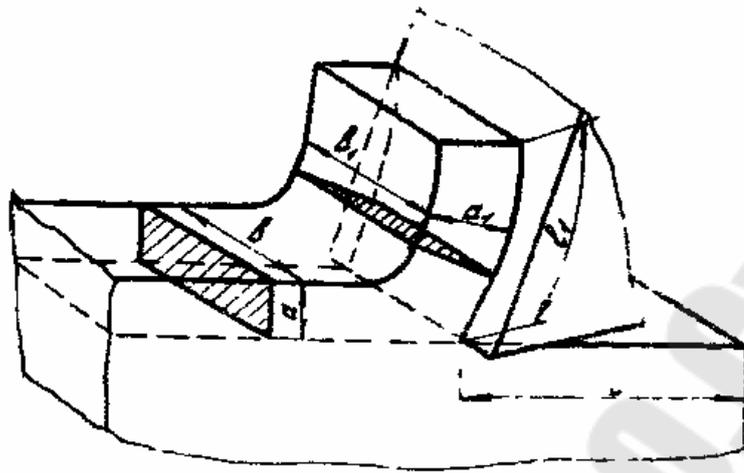


Рис. 3.2. Усадка стружки

Усадка определяется коэффициентами усадки стружки. Различают коэффициенты усадки стружки по толщине  $K_a$ , по ширине  $K_b$  и по длине  $K_l$ . Они выражаются соотношениями:

$$K_a = \frac{a_1}{a}; \quad K_b = \frac{b_1}{b}; \quad K_l = \frac{l}{l_1}, \quad (1)$$

где:  $a_1, b_1, l_1$  - соответственно толщина, ширина и длина стружки;  $a, b, l$  - соответственно толщина, ширина и длина срезаемого слоя

Элементы сечения срезаемого слоя определяются расчётом по формулам:

$$a = S_o \cdot \sin \varphi \quad \text{и} \quad b = \frac{t}{\sin \varphi}, \quad (2)$$

где:  $S_o$  - подача на оборот, мм/об;  $t$  - глубина резания, мм;  $\varphi$  - угол в плане, град.

В соответствии с условием постоянства объёма деформируемого тела до и после деформации связь между указанными коэффициентами усадки стальной стружки выражается зависимостью:

$$K_l = K_a \cdot K_b. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что усадка стружки по ширине  $K_b$  при малом отношении ширины срезаемого слоя к его толщине может отличаться от единицы. В остальных случаях значение усадки стружки по ширине близко к единице. В связи с этим обычно принимают

$$K_b \approx K_a$$

Усадка стружки по толщине  $K_a$  зависит от угла сдвига  $\beta_1$  и переднего угла  $\gamma$ . Эта зависимость имеет вид

$$K_a = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1}. \quad (4)$$

Согласно формуле (4) усадка по толщине уменьшается с увеличением углов  $\beta_1$  и  $\gamma$ , так как с увеличением угла  $\gamma$  возрастает и угол сдвига  $\beta_1$  (рис.3.1).

При образовании элементной стружки в числитель формулы (1) для определения усадки по толщине  $K_a$ , вместо  $a_1$  следует подставлять среднее значение между максимальной толщиной стружки  $a_1$  и толщиной её сплошного участка  $a_2$  (рис. 3.1, в), т.е. коэффициент  $K_a$  для элементной стружки определяется по формуле:

$$K_a = \frac{a_1 + a_2}{2a}. \quad (5)$$

Коэффициент усадки по длине для сливной и элементной стружек с нерезко выраженными элементами составляет обычно значение, больше единицы, т.е.

$$K_\ell > 1.$$

Однако при обработке малопластичных титановых сплавов и некоторых видов пластмасс, коэффициент усадки  $K_\ell$  весьма часто получается меньше единицы. При этом усадка стружки называется «отрицательной усадкой».

*Относительный сдвиг.* Как уже было указано, более точной характеристикой степени пластической деформации при резании является относительный сдвиг  $\varepsilon$ .

Относительный сдвиг для схемы образования сливной стружки может быть найден с помощью рис. 3.3, согласно которому при перемещении резца из точки  $O_1$  в точку  $O_2$  переходная пластическая деформируемая зона срезаемого слоя в виде параллелограмма  $O_1O_2F_2F_1$  превращается за счёт простого сдвига в элемент стружки  $BO_2F_2A$ , в результате чего линия  $O_1F_1$  смещается в положение  $BA$ . При этом относительный сдвиг определяется отношением:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{\Delta X}, \quad (6)$$

где:  $\Delta S$  - абсолютный сдвиг, мм;  $\Delta X$  - толщина рассматриваемого элемента деформируемой зоны, мм.

После преобразования выражения (6) формула для относительного сдвига получает вид:

$$\varepsilon = ctg\beta_1 + tg(\beta_1 - \gamma). \quad (7)$$

Как видно из формулы (7), относительный сдвиг возрастает с уменьшением углов сдвига  $\beta_1$  и переднего  $\gamma$  (рис. 3.3, а).

Необходимо отметить, что приведённая формула является неудобной для практического использования, так как определение угла сдвига  $\beta_1$  связано с проведением весьма трудоёмких и сложных экспериментов. Поэтому расчёт относительного сдвига целесообразно проводить по

формуле, где угол сдвига  $\beta_1$  заменён коэффициентом усадки стружки. Такая формула может быть получена, если в зависимость (7) подставить выражение для  $\beta_1$  из формулы (4):

$$\varepsilon = \frac{K_a^2 - 2K_a \cdot \sin \gamma + 1}{K_a \cdot \cos \gamma}. \quad (8)$$

Анализ этой формулы показывает, что относительный сдвиг не равен нулю  $K_a = 1$ . Таким образом, подтверждается положение о том, что отсутствие в ряде случаев усадки по толщине срезаемого слоя при стружкообразовании не означает отсутствия деформации.

Относительный сдвиг для стружек с резко элементной структурой определяется на основании схемы, приведённой на рис. 3.3,б.

Здесь  $\varepsilon_3 = \frac{AF_1}{\Delta X}$ , откуда после соответствующих преобразований получим

$$\varepsilon_3 = \varepsilon \left[ 1 - \frac{a}{m \cdot \cos \gamma} \left( 1 - \frac{a_2}{a_1} \right) \right], \quad (9)$$

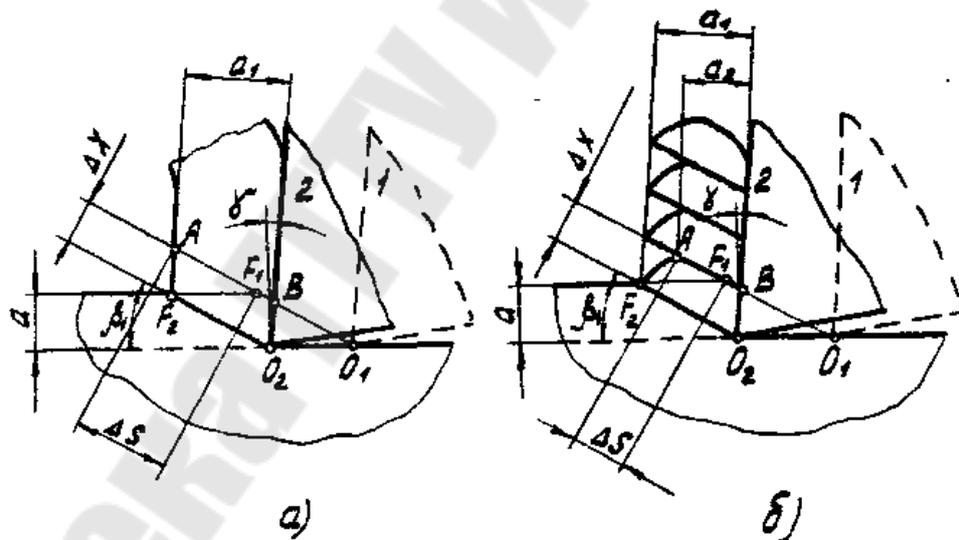


Рис. 3.3. Сдвиг стружки: а – сливной, б – элементной

где:  $\varepsilon_3$  - относительный сдвиг для элементной стружки;  $\varepsilon$  - относительный сдвиг, рассчитанный по формуле (8) для сливной стружки;  $a$  - толщина срезаемого слоя, мм;  $m$  - шаг стружки, мм.

При расчёте относительного сдвига для элементных стружек можно также использовать, не допуская существенной погрешности, более простую формулу:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon \frac{a_2}{a_1}. \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) являются общими для двух видов стружки. Так, например, для сливной стружки  $a_2 = a_1$ , следовательно  $\varepsilon_3 = \varepsilon$ .

Деформация металла при резании, в частности коэффициент усадки стружки, может быть экспериментально определена одним из следующих методов.

*Метод измерения параметров стружки или корня стружки.* Для измерения параметров сливной стружки ( $a_1$  и  $v_1$ ) используется микрометр или штангенциркуль. Толщина и ширина срезаемого слоя рассчитываются по соотношениям (2).

По полученным данным по формулам (1) определяются коэффициенты усадки стружки по толщине  $K_a$  и по ширине  $K_s$ , а затем и коэффициент усадки по длине  $K_l$  по формуле (3).

Измерение всех необходимых параметров элементной стружки производится на инструментальном микроскопе или использовать метод металлографического исследования. В первом случае стружка небольшой длины своей боковой стороной закрепляется на плоскопараллельной пластине, которая устанавливается на столике инструментального микроскопа. Полученное изображение продольного сечения стружки проектируется на экран микроскопа с 30-50-кратным увеличением.

Приведённый способ определения параметров элементной стружки является, однако, приближённым, так как измерение необходимых величин при этом осуществляется по боковой стороне стружки, где имеются определённые искажения профиля в связи с наличием краевого эффекта. Более точные результаты могут быть получены при измерении параметров стружки в продольном сечении, расположенном в средней части её ширины.

Металлографический метод исследования стружки и корня стружки является одним из наиболее эффективных методов изучения деформации срезаемого слоя и всей зоны резания. Он позволяет определить с достаточной точностью не только линейные параметры стружки, но и такие важнейшие характеристики деформированного состояния, как угол сдвига  $\beta_1$  и угол текстуры  $\beta_2$ , а также микротвёрдость в различных участках стружки и поверхностного слоя обработанной поверхности.

Указанный метод основан на фотографировании микрошлифов стружки или её корня. Последние получают при свободном резании путём мгновенной фиксации зоны резания с помощью специального приспособления, обеспечивающего очень быстрый вывод резца из-под стружки. При этом на заготовке остаётся небольшая часть стружки, соединённая с ней своим основанием (корнем). Стружки или корни стружек закладываются в стальные чашечки, заливаются эпоксидной смолой ЭД6, разбавленной полиэтиленполиамидом, и шлифуются на глубину, равную примерно половине ширины срезаемого слоя, с последующей полировкой. Далее, после промывки спиртом, они подвергаются травлению реактивом специального состава и фотографируются на металлографическом микроскопе типа МИМ-7 с увеличением в 70-120 раз. По полученным таким

образом микрофотографиям определяются все необходимые параметры стружки и характеристики её пластической деформации.

*Метод измерения длины пути резца и длины полученной стружки.* При точении заготовки с двумя диаметрально расположенными пазми шириной  $C$  (рис.4), в которые запрессованы бруски из того же материала, снимаемая стружка отламывается в местах перехода поверхности заготовки в паз. При этом длина пути, пройденного резцом, определяется из выражения

$$\ell = \frac{\pi d}{2} - C.$$

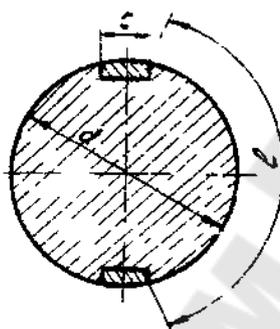


Рис. 3.4. Сечение заготовки при определении коэффициента усадки по длине

На стружке измеряется длина  $\ell'_1$  с помощью гибкого элемента (провода, нитки) по гладкой приконтактной поверхности и длина  $\ell''_1$  - по противоконтактной стороне. Средняя длина стружки определяется полусуммой этих величин.

Приведённый метод определения коэффициента усадки по длине применим только для сливных стружек.

*Весовой метод.* При определении длины стружки весовым методом используется соотношение  $K_\ell = \frac{\ell}{\ell_1} = \frac{a_1 v_1}{av}$ , в котором площадь поперечного сечения стружки  $a_1 v_1$  определяется путём взвешивания стружки небольшой длины на аналитических весах с учётом, что

$$a_1 v_1 = \frac{Q \cdot 10^3}{\ell_1 \cdot \gamma},$$

где:  $Q$  - вес стружки, г;  $\gamma$  - удельный вес обрабатываемого материала, г/см<sup>3</sup>.

Так как  $av = st$ , то коэффициент усадки по длине рассчитывается по формуле

$$K_\ell = \frac{Q \cdot 10^3}{\ell_1 \cdot \gamma \cdot s \cdot t}. \quad (11)$$

Следует заметить, что значение коэффициента усадки  $K_\ell$ , найденные методом взвешивания по формуле (11) и измерением параметров стружки

или корня стружки, близки между собой как для сливных, так и для элементных стружек.

4. Построение графиков полученных зависимостей и формулирование необходимых выводов.

По полученным результатам необходимо построить графики зависимостей коэффициента усадки  $K_\epsilon$  и относительного сдвига  $\epsilon$  от скорости резания  $v$ , подачи  $S$ , глубины  $t$  и переднего угла  $\gamma$ , угла в плане  $\phi$  при тчении углеродистой конструкционной стали или другого материала.

По полученным графикам необходимо сделать выводы о влиянии элементов режима резания и углов на степень пластической деформации срезаемого слоя.

### СТРУКТУРА ОТЧЁТА

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Краткие сведения о видах образующих стружки и соответствующие эскизы (рис.1) с указанием основных параметров стружки.
5. Описание характеристик степени пластической деформации срезаемого слоя и формулы для их расчёта.
6. Схемы сдвига сливной и элементной стружек (рис.3).
7. Краткое изложение методов экспериментального определения усадки стружки.
8. Протокол исследования и графики зависимостей стружки и относительного сдвига от элементов режима резания.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель работы?
2. Каков порядок выполнения работы?
3. Что такое пластическая деформация, и какими величинами она определяется при резании?
4. Что такое усадка стружки, коэффициенты усадки и относительный сдвиг?
5. Приведите формулы, выражающие зависимости показателей деформации от условий обработки?
6. Объясните методы изучения пластической деформации при резании, в частности, определения усадки?
7. Как изменяется деформация металла с изменением элементов режима резания, и объясните причину установленных изменений?
8. Как влияет геометрия инструмента на показатели деформации срезаемого слоя?

ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Серии	№ опыта	Условия обработки резанием								Параметры стружки						Показатели деформации				Примечание	
		$n \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$v \frac{\text{м}}{\text{мин}}$	$s \frac{\text{мм}}{\text{об}}$	$t$ мм	$\gamma$ град	$D$ мм	$a$ мм	$b$ мм	$l$ мм	$a_1$ мм	$b_1$ мм	$l_1$ мм	$G$ гр	$a_2$ мм	$t$ мм	$K_a$	$K_b$	$K_l$		$\varepsilon$
серия С	1																				
	2																				
	3																				
	4																				
	5																				
	6																				
серия S	1																				
	2																				
	3																				
	4																				
	5																				
серия t	1																				
	2																				
	3																				
	4																				
	5																				

## Лабораторная работа 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить схему действия сил резания.
2. Ознакомиться с приборами, используемыми при исследовании сил резания.
3. Исследовать влияние глубины резания  $t$ , подачи  $S$ , скорости резания  $v$  и углов  $\phi$  и  $\gamma$  на составляющие силы резания.
4. Освоить методику математической обработки результатов эксперимента и получение степенных эмпирических формул.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение схемы действия сил резания.
2. Исследование сил резания в зависимости от элементов режима резания ( $t$ ,  $S$  и  $v$ ) и углов  $\phi$  и  $\gamma$ .
3. Определение показателей степени и коэффициентов в степенных формулах для сил.
4. Выполнение анализа полученных конкретных эмпирических зависимостей сил резания от элементов режима резания.
5. Оформление отчёта и формулирование выводов по работе.

#### СИСТЕМА СИЛ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

В случае резания инструментом с углом наклона кромки  $\lambda$ , близки к нулю, можно считать, что направление движения стружки по передней поверхности совпадает с главной секущей плоскостью. При рассечении зоны резания главной секущей плоскостью, проходящей через среднюю точку рабочего участка режущей кромки, как это показано на рис. 4.1 (точка O), на режущих поверхностях инструмента можно увидеть следующие силы взаимодействия резца со стружкой и заготовкой:

На передней поверхности – нормальная сила  $N_n$  и сила трения  $F_n$  стружки о переднюю поверхность инструмента; на задней поверхности – нормальная сила  $N_z$  и сила трения  $F_z$  поверхности резания заготовки с заднюю поверхность (площадку износа) инструмента.

По значению и распределению касательных сил (сил трения) судят об интенсивности износа поверхности инструмента и режущей кромки, производят расчёт тепловыделения и контактной температуры, оценивают напряжённость процесса резания. По значению нормальных сил определяют

прочность режущей части инструмента, напряжённость процесса стружкообразования и т.д. Кроме того, силы трения и нормального давления дают возможность рассчитать важный показатель процесса резания – коэффициент трения.

Определить силы  $N_n, F_n, N_z$  и  $F_z$  экспериментально в настоящее время трудно, так как они являются внутренними силами системы резец-заготовка-стружка. Если их геометрически сложить по правилу многоугольника, как показано на рис. 4.1, то получим равнодействующую силу сопротивления резанию (силу  $P$ ). Эта сила действует на инструмент и направлена в его тело. Равнодействующую силу измерить экспериментально также затруднительно, так как она имеет в общем случае неопределённое пространственное расположение.

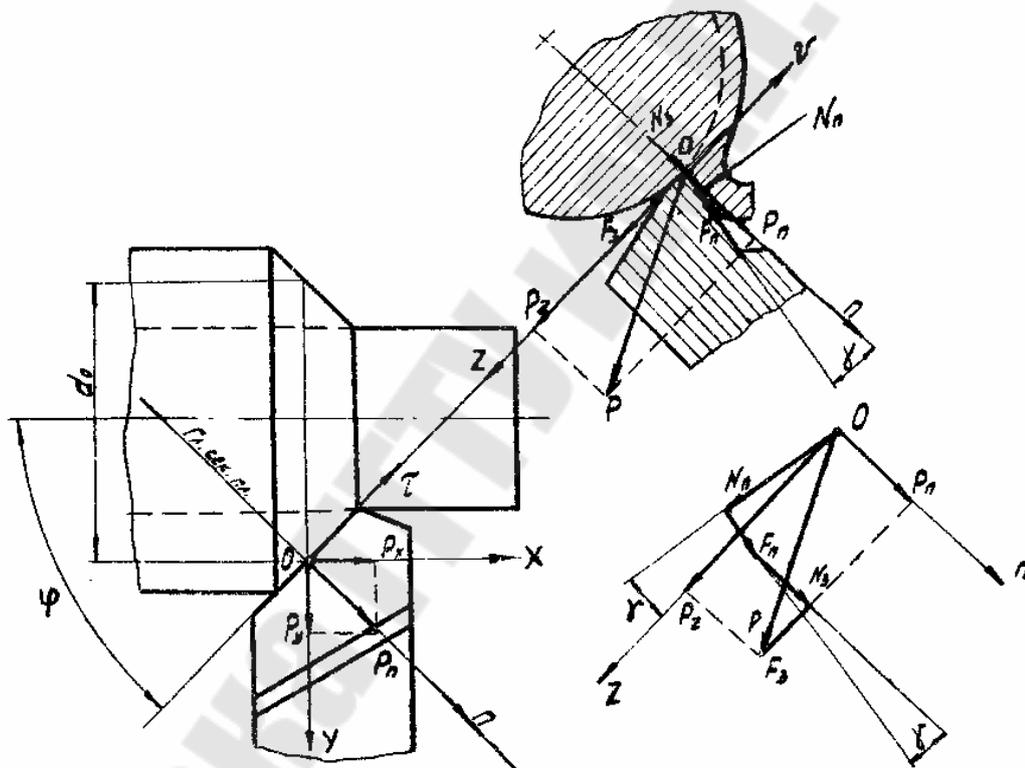


Рис. 4.1. Схема разложения сил резания на составляющие при точении

Для облегчения экспериментального определения сил резания, равнодействующую силу (силу  $P$ ) проектируют на три взаимно перпендикулярные оси технологической координатной системы  $XYZ$ . Начало этой системы координат (точка  $O$ ) должно располагаться в средней точке рабочего участка режущей кромки инструмента, а оси координат – приходиться следующим образом:

- ось  $OX$  - вдоль оси главного вращательного движения;
- ось  $OY$  - по радиусу главного вращательного движения;
- ось  $OZ$  - вдоль вектора скорости главного движения.

После разложения силы  $P$  на координатные оси на каждой режущей кромке получают три составляющие: осевую  $P_X$ , радиальную  $P_Y$  и тангенциальную  $P_Z$ . Каждая из этих сил оказывает на процесс резания вполне определённое воздействие. Сила  $P_X$  влияет на механизм подачи станка, изгиб резца и упорные подшипники шпинделя; сила  $P_Y$  оказывает влияние на отжим резца от заготовки, деформацию детали, точность обработки, радиальные подшипники шпинделя; сила  $P_Z$  определяет мощность привода главного движения и крутящий момент на шпинделе станка, влияет на прочность инструмента и механизма коробки скоростей, изгиб заготовки, радиальные подшипники шпинделя, точность и шероховатость обработки и другие параметры процесса резания. В связи с таким значительным влиянием силы  $P_Z$  её также называют главной составляющей.

Каждую из составляющих можно измерить экспериментально. Зная силы  $P_X, P_Y$  и  $P_Z$ , рассчитывают равнодействующую силу резания по формуле:

$$P = \sqrt{P_X^2 + P_Y^2 + P_Z^2} \quad (1)$$

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. Изучение устройства динамометра

Динамометр для измерения сил резания в принципе представляет собой устройство с упругими элементами, деформирующимися в направлении действия сил резания. В динамометр устанавливается либо инструмент, либо заготовка. Упругий элемент, деформируемый в процессе резания действующей силой, связан с каким-нибудь датчиком деформации. С изменением силы резания изменяется деформация упругого элемента динамометра, вследствие чего датчик даёт косвенную информацию о силе.

Принцип действия датчиков, применяемых в динамометрии резания, может быть различным. Датчики бывают механические /стрелочные индикаторы/, гидравлические, электроиндуктивные, ёмкостные, пьезоэлектрические, электросопротивления и т.п. Каждый из этих датчиков имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее точным и простым датчиком сил резания, широко применяемым в исследовательской практике, является датчик электросопротивления. В дальнейшем будем называть его тензодатчиком.

Тензодатчик представляет собой зигзагообразное проволочное сопротивление, изготовленное из высокоомной проволоки диаметром 0,02 мм и обклеенное тонкой диэлектрической бумагой. Датчик имеет небольшие размеры и крепится к упругому элементу динамометра путём приклеивания.

Динамометр, применяемый в лабораторной работе, основан на использовании тензометрических датчиков сопротивления. Его механическая часть снабжена упругой системой, дающей от трёх составляющих силы резания три независимые упругие деформации /перемещения/. В связи с этим он называется трёхкомпонентным.

Современный динамометр в целом представляет собой сложную исследовательскую установку (рис. 4.2), в которую входит: собственно динамометр, четырёхканальный усилитель (УТ4-1), приборный щит с вмонтированными в нём шунтами (сопротивлениями), осциллограф (К-121), соединительные провода, резцедержавка, используемая при точении, и столик, применяемый для закрепления заготовки при сверлении фрезеровании (резцедержавка и столик на рис.4.2 не показаны).

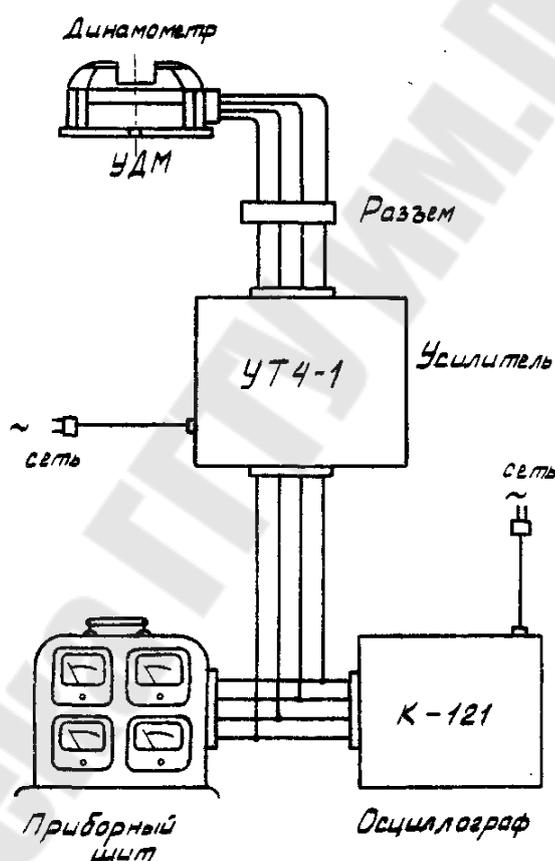


Рис. 4.2. Схема соединения приборов динамометрической установки

Конструкция универсального динамометра показана на рис.4.3. Полость корпуса 1 динамометра, в которой помещена державка 3, закрыта сверху крышкой 2. Державка 3 выполнена в виде квадратной призмы с круглым фланцем в верхней части. Круглый фланец державки предназначен для закрепления на динамометре сменных приспособлений: резцедержавки или столика.

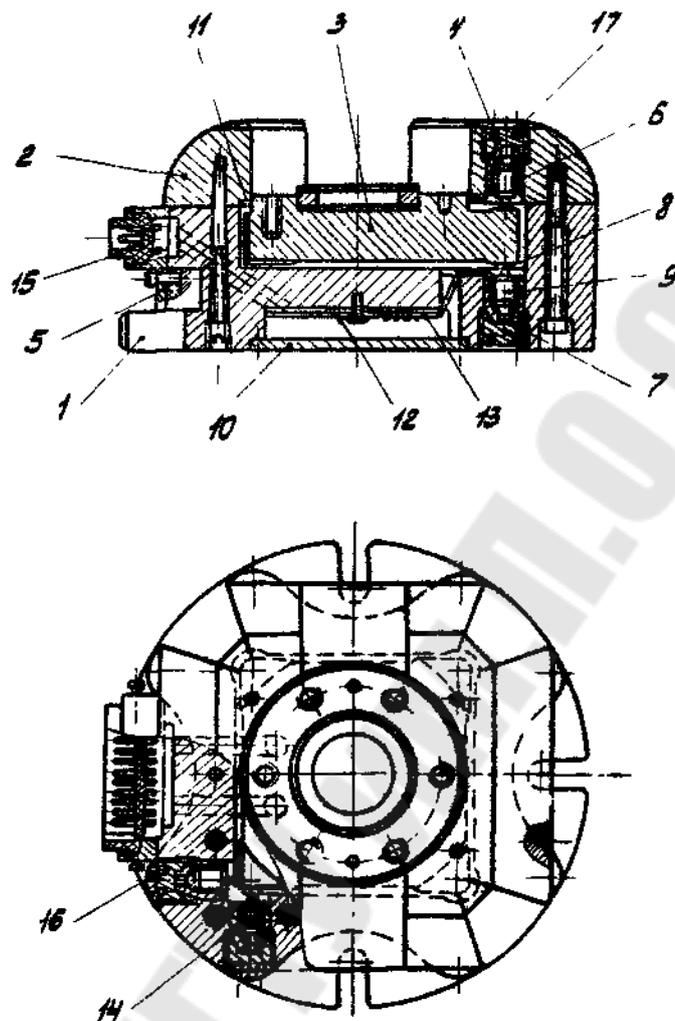


Рис.4.3. Конструкция универсального трёхкомпонентного динамометра УДМ (автор Б.И.Мухин)

Для предохранения механизма динамометра от пыли, стружки и охлаждающей жидкости зазор между корпусом динамометра и круглым фланцем державки закрыт резиновым кольцом П.

Державка установлена в корпусе на 16 упругих опорах. Каждая опора состоит из тонкостенной втулки 9 и двух ножек – 7 и 8. Ножки образуют два упругих шарнира. Такая конструкция опоры обеспечивает большую жёсткость в направлении её оси и малую жёсткость в направлении, перпендикулярном оси (отношение жёсткостей примерно 100:1). Благодаря этому опоры в динамометре воспринимают нагрузку лишь в одном направлении – вдоль оси опоры. Площади сечения втулки и ножек опоры равновелики и выбраны так, чтобы материал опоры работал в области упругих деформаций. Все опоры выполнены из термически обработанной стали 60С2А. Вертикальные и горизонтальные опоры отличаются друг от друга значением нагрузки, на которое они рассчитаны. Опоры установлены в направляющих втулках 6. Каждая из опор динамометра имеет предварительный натяг, который несколько (примерно на 10%) превышает половину нагрузки, максимально допустимую для опоры. Благодаря натягу

опор устраняются все зазоры и контактные деформации в стыках деталей динамометра. Величину натяга опор регулируют поворотом гаек 4. После регулирования натяга гайки 4 фиксируют с помощью сухарей 5 и закрывают крышками: верхние гайки – крышками 17, боковые гайки – крышками 16.

На втулки опор наклеены (строго вдоль образующей втулки) проволочные датчики сопротивления 14 с базой 10 мм и с номинальным сопротивлением 100 Ом. На опоры, оси которых расположены вертикально, наклеено по одному датчику, которые соединены в схему измерения силы  $P_z$ .

На опоры, оси которых расположены горизонтально, наклеено по два датчика: одни датчики соединены в схемы измерения сил  $P_x$  и  $P_y$ , другие датчики – в схему измерения  $M_{кр}$ . Провода от каждого датчика выведены через отверстия в корпусе динамометра на панель 12 и присоединены к клеммам 13. На панели 12 датчики соединяют в измерительные схемы (схемы соединения датчиков показаны на рис. 4.4). Полость корпуса динамометра, в которой расположена панель 12, закрыта крышкой 10. Провода от измерительных схем выведены на разъёмное шасси 15. При работе динамометра к разъёмному шасси 15 присоединяется экранированный кабель от усилителя УТ4-1.

Динамометр работает следующим образом: под действием силы резания деформируются, в основном, опоры, как наименее жёсткие детали динамометра, например, при нагружении вертикальной силой  $P_z$  деформируются вертикальные опоры.

Проволочные датчики, наклеенные на вертикальные опоры, соединены таким образом (рис. 4.5), что сигнал измерительной схемы пропорционален алгебраической сумме деформаций всех верхних и нижних вертикальных опор. При таком включении проволочных датчиков показания динамометра не зависят от точки приложения силы резания. Сигнал с измерительной схемы поступает далее на вход электронного усилителя УТ4-1, усиливается и затем передаётся на параллельно соединённые микроамперметр М266 и вибратор Н-135-1.5 осциллографа К-121, с помощью которых можно регистрировать показания динамометра.

Работа динамометра при измерении сил  $P_x$  и  $P_y$  аналогична его работе при измерении силы  $P_z$ . При действии крутящего момента /например, при сверлении/ деформируются все горизонтальные опоры. Проволочные датчики, наклеенные на эти опоры и не участвующие в измерении сил  $P_x$  и  $P_y$ , соединены таким образом (см.рис.4.5), что сигнал измерительной схемы пропорционален крутящему моменту.

Для перевода электрических показаний в килограммы пользуются тарировочным графиком, который получен в результате предварительного тарирования динамометра. Все экспериментальные данные по измерению сил заносятся в протокол исследований.

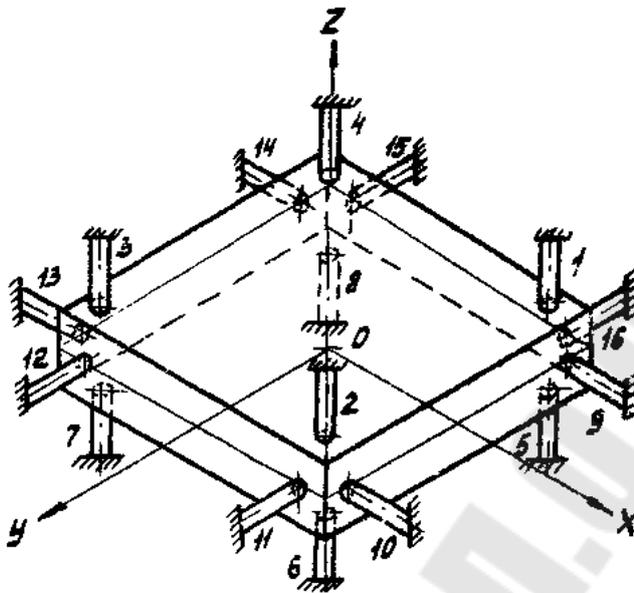


Рис. 4.4 Схема измерения динамометра

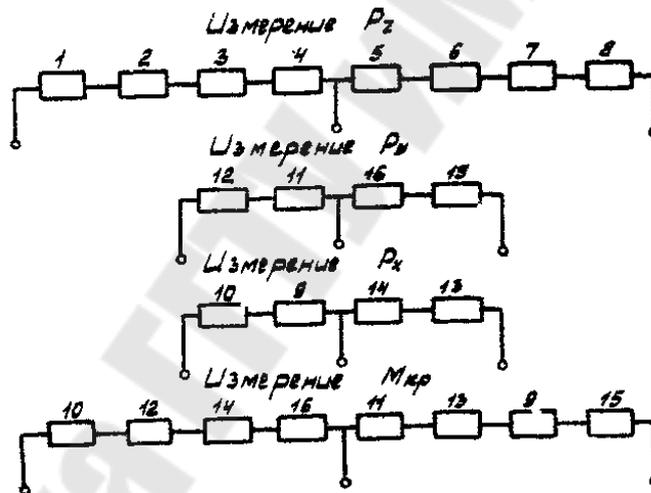


Рис. 4.5. Схемы соединения датчиков

2. Построение графиков, отражающих влияние параметров режима резания и резца на силы резания.

Опыты обычно проводят по сериям. В каждой серии изменяют лишь один из элементов режима резания, например, в первой серии – глубину резания  $t$ . Остальные элементы режима резания (подачу  $S$  и скорость  $v$ ) в этой серии оставляют постоянными. Во второй серии опытов за переменную величину берут другой параметр, например, подачу  $S$ . Неизменными в данной серии оставляют глубину  $t$  и скорость резания  $v$ . В третьей серии изменяют третий параметр (в данном случае – скорость резания  $v$ ). Результаты опытов заносят в протокол исследования, где в каждой серии рядом со значением изменяемого элемента режима резания записывается значение силы резания.

В результате проведенных экспериментов сроятся графики  $P_Z = f(t)$ ;  $P_Z = f(S)$ ;  $P_Z = f(v)$ ;  $P_Z = f(\gamma)$ ;  $P_Z = f(\varphi)$ .

### 3. Получение эмпирических зависимостей.

В исследовательской практике чаще всего приходится сталкиваться с криволинейными графическими зависимостями между функцией и аргументом. Спрямление кривых производят с помощью функциональных шкал и функциональных сеток.

Функциональной шкалой называется координатная ось, на которой вместо числа, например, аргумента  $x$ , откладывается некоторая функция этого числа, например,  $x^2$ ,  $\lg x$ ,  $\sin x$  и т.д. В результате вместо равномерной миллиметровой шкалы мы имеем дело с неравномерной (функциональной) шкалой. Функциональной сеткой называется прямоугольная система координат, одна или обе оси которой есть функциональные шкалы.

Из всех параметров, влияющих на процесс резания, наиболее важными являются элементы режима резания: глубина резания  $t$ , подача  $S$  и скорость резания  $v$ . Поэтому в теории резания при изучении того или иного явления за независимые переменные (аргументы) всегда принимают, как правило, именно эти параметры ( $t, S$  и  $v$ ).

Так, например, главная составляющая силы резания выражается формулой:

$$P_Z = C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}} \quad (2)$$

Индексы при коэффициентах и показателях степени указывают на их принадлежность к исследуемой величине, например,  $C_{P_Z}$  - коэффициент в формуле для силы  $P_Z$ . Показатели степени имеют вполне определённое обозначение, а именно:

$X$  - показатель при глубине резания  $t$ ;  $Y$  - показатель при подаче  $S$ ;  $Z$  - показатель при скорости резания  $v$ .

Возьмём для этой цели выражение (2) для силы  $P_Z$ . Последовательность действий при обработке других степенных зависимостей аналогична. Эта зависимость выражает собой функцию трёх аргументов.

Очевидно, что общая степенная формула (2) применительно к каждой серии опытов будет иметь более простой частный вид:

$$\begin{aligned} \text{для серии глубины} - P_Z &= C_{P_{Z1}} \cdot t^{X_{P_Z}}; \\ \text{для серии подачи} - P_Z &= C_{P_{Z2}} \cdot S^{Y_{P_Z}}; \\ \text{для серии скорости} - P_Z &= C_{P_{Z3}} \cdot v^{Z_{P_Z}}. \end{aligned} \quad (3)$$

В частных зависимостях (3) коэффициенты  $C_{P_{Z1}}$ ,  $C_{P_{Z2}}$  и  $C_{P_{Z3}}$  включают в себя величины, постоянные в данной серии, т.е.

$$\begin{aligned} \text{для серии глубины} - C_{P_{Z1}} &= C_{P_Z} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}}; \\ \text{для серии подачи} - C_{P_{Z2}} &= C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}}; \\ \text{для серии скорости} - C_{P_{Z3}} &= C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Частные зависимости (3) при построении их в двойной логарифмической системе координат представляют собой прямые линии. Это нетрудно показать, если уравнения (3) прологарифмировать:

$$\begin{aligned} \lg P_Z &= \lg C_{P_{Z1}} + X_{P_Z} \cdot \lg t; \\ \lg P_Z &= \lg C_{P_{Z2}} + Y_{P_Z} \cdot \lg S; \\ \lg P_Z &= \lg C_{P_{Z3}} + Z_{P_Z} \cdot \lg v. \end{aligned} \quad (5)$$

Полученные равенства (5) относительно логарифмических переменных есть уравнения первой степени, т.е. уравнения прямой типа  $y = kx + b$ . Угловым коэффициентом прямой  $k$  и свободным членом  $b$  можно выразить согласно уравнениям (5) таким образом:

$$\begin{aligned} \text{для серии глубины} - k &= X_{P_Z}, \quad b = \lg C_{P_{Z1}}; \\ \text{для серии подачи} - k &= Y_{P_Z}, \quad b = \lg C_{P_{Z2}}; \\ \text{для серии скорости} - k &= Z_{P_Z}, \quad b = \lg C_{P_{Z3}}. \end{aligned}$$

Следовательно, построив экспериментальные результаты в логарифмической сетке и проведя через отложенные точки прямые линии, можно определить показатели степени  $X_{P_Z}$ ,  $Y_{P_Z}$  и  $Z_{P_Z}$  как тангенс угла наклона соответствующей прямой. Для построения графиков в логарифмической системе координат пользуются специальной логарифмическими шкалами.

Затем определяют тангенс угла наклона проведённой прямой к оси абсцисс. Найденное значение тангенса угла и будет показателем степени при соответствующей переменной. После определения показателей степени  $X_{P_Z}$ ,  $Y_{P_Z}$  и  $Z_{P_Z}$  приступают к определению коэффициента  $C_{P_Z}$ .

Он определяется непосредственно из общей формулы (2):

$$C_{P_Z} = \frac{P_Z}{t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}}} \quad (6)$$

Значения коэффициента  $C_{P_Z}$  в этом случае отыскивают также для каждой серии опытов. Для этого в формулу (6) вместо элементов режима резания подставляют их численные значения из любого опыта данной серии, а сила для этого опыта берётся непосредственно по графику для данной серии. Лучше всего коэффициент  $C_{P_Z}$  определять не по любому опыту данной серии, а по тому, который повторяется в каждой серии (если, конечно, такой опыт существует). Это значительно облегчит расчёт коэффициента, так как знаменатель в формуле (6) становится неизменным, одним для всех серий. Из трёх рассчитанных значений коэффициентов берут среднеарифметическое:

$$C_{P_Z} = \frac{C'_{P_Z} + C''_{P_Z} + C'''_{P_Z}}{3}$$

Подставляя найденные значения коэффициента  $C_{P_Z}$  и показателей степени  $X_{P_Z}$ ,  $Y_{P_Z}$  и  $Z_{P_Z}$  в исходное выражение (2), получают конкретную формулу для расчёта и анализа сил резания по элементам режима резания.

Для подкрепления описанных в этом параграфе общих положений, касающихся вывода степенных формул в теории резания, рассмотрим подробно пример обработки результатов исследования силы резания  $P_Z$ .

**Пример.** Допустим, что мы провели исследования силы резания  $P_Z$  в зависимости от элементов режимов резания. Результаты этого исследования записаны в протокол, представленный в виде таблицы 1. Требуется получить степенную эмпирическую формулу, отражающую связь силы  $P_Z$  с элементами режима резания  $t$ ,  $S$  и  $v$ . Для этого необходимо на основании проведённых экспериментов найти значения показателей степени  $X_{P_Z}$ ,  $Y_{P_Z}$  и  $Z_{P_Z}$  и коэффициента  $C_{P_Z}$ .

Найдём коэффициент  $C_{P_Z}$  в общей зависимости (2). Для этого воспользуемся более коротким путём без определения частных коэффициентов, т.е. путём расчёта по формуле (6). Расчёт коэффициента будем производить для одного повторяющегося опыта во всех сериях (опыт №3 во всех трёх сериях):

а) по серии глубины

$$C'_{P_Z} = \frac{P_Z}{t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}}} = \frac{166}{2^{1,00} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 70^{-0,17}} = \frac{166}{0,393} = 422;$$

б) по серии подачи

$$C''_{P_Z} = \frac{P_Z}{t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}}} = \frac{164}{2^{1,00} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 70^{-0,17}} = \frac{164}{0,393} = 417;$$

в) по серии скорости

$$C'''_{P_Z} = \frac{P_Z}{t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}}} = \frac{163}{2^{1,00} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 70^{-0,17}} = \frac{163}{0,393} = 415.$$

Среднее значение, рассчитанное по этим величинам, и будет искомым коэффициентом:

$$C_{P_Z} = \frac{C'_{P_Z} + C''_{P_Z} + C'''_{P_Z}}{3} = \frac{422 + 417 + 415}{3} = 418.$$

Протокол исследования силы резания  $P_Z$ 

№ п/п	Серия глубины				Серия подачи				Серия скорости			
	$t$ мм	$S$ $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$	$v$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	$P_Z$ кг	$t$ мм	$S$ $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$	$v$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	$P_Z$ кг	$t$ мм	$S$ $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$	$v$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	$P_Z$ кг
1	0,8	0,3	70	69	2,0	0,1	70	73	2,0	0,3	30	182
2	1,0	-«»-	-«»-	84	-«»-	0,2	-«»-	116	-«»-	-«»-	50	180
3	2,0	-«»-	-«»-	162	-«»-	0,3	-«»-	168	-«»-	-«»-	70	157
4	3,0	-«»-	-«»-	250	-«»-	0,4	-«»-	203	-«»-	-«»-	100	153

Теперь можно записать эмпирическую формулу, подставив в уравнение (6) найденные значения, а именно:

$$P_Z = 418 \cdot \frac{t \cdot S^{0,75}}{v^{0,17}}$$

Так, применительно к обработке серии глубины резания  $t$  при исследовании силы  $P_Z$  расчёт постоянных производят по следующим формулам, полученных по методу наименьших квадратов:

$$\left. \begin{aligned} x_{P_Z} &= \frac{n \sum_{i=1}^n \lg t_i \cdot \lg P_{Zi} - \sum_{i=1}^n \lg t_i \cdot \sum_{i=1}^n \lg P_{Zi}}{n \sum_{i=1}^n (\lg t_i)^2 - \left( \sum_{i=1}^n \lg t_i \right)^2}; \\ \lg C_{P_Z} &= \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n \lg P_{Zi} - x_{P_Z} \sum_{i=1}^n \lg t_i \right). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Полученные формулы необходимо проанализировать и сделать выводы о том, какая из составляющих силы резания больше, какой из элементов режима резания оказывает большее влияние на силы (по значению соответствующего показателя степени), как нужно выбирать режим резания с целью снижения усилий резания, обеспечивая наибольшую производительность обработки.

Результаты экспериментов принято записывать в виде эмпирических соотношений степенного вида. В частности, для составляющих  $P_X$ ,  $P_Y$  и  $P_Z$  /токарная обработка/ используются следующие формулы:

$$\begin{aligned} P_X &= C_{P_X} \cdot t^{X_{P_X}} \cdot S^{Y_{P_X}} \cdot v^{Z_{P_X}} \cdot K_{P_X}, \\ P_Y &= C_{P_Y} \cdot t^{X_{P_Y}} \cdot S^{Y_{P_Y}} \cdot v^{Z_{P_Y}} \cdot K_{P_Y}, \\ P_Z &= C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}} \cdot K_{P_Z}, \end{aligned} \quad (8)$$

где:  $t, S$  и  $v$  - элементы режима резания (соответственно глубина резания, подачи и скорость резания);  $C_{P_X}, C_{P_Y}$  и  $C_{P_Z}$  - коэффициенты, зависящие от вида обрабатываемого материала и других условий резания;  $X, Y$  и  $Z$ -дробные показатели степени при соответствующих переменных;  $K_{P_X}, K_{P_Y}$  и  $K_{P_Z}$  - поправочные коэффициенты, учитывающие отличия условий данного случая резания от условий, при которых произведён эксперимент для отыскания численных значений коэффициентов и показателей степени.

В данной лабораторной работе задача сводится к получению экспериментальным путём численных значений коэффициентов и показателей степени в приведённых формулах. Для этого необходимо провести опыты по исследованию усилий резания в зависимости от параметров ( $t, S$  и  $v$  - при точении). В условиях лабораторной работы поправочные коэффициенты равны единице.

Опыты проводят по сериям, изменяя в каждой серии лишь один из элементов режима резания. Результаты измерения заносят в протокол исследования.

Применительно, например, к точению, формулы общего вида (8) в отдельных сериях могут быть представлены следующими частными зависимостями:

а) для серии глубины резания  $t$

$$P_X = C_{P_{X1}} \cdot t^{X_{P_X}} ; P_Y = C_{P_{Y1}} \cdot t^{X_{P_Y}} ; P_Z = C_{P_{Z1}} \cdot t^{X_{P_Z}} ;$$

б) для серии подачи  $S$

$$P_X = C_{P_{X2}} \cdot S^{Y_{P_X}} ; P_Y = C_{P_{Y2}} \cdot S^{Y_{P_Y}} ; P_Z = C_{P_{Z2}} \cdot S^{Y_{P_Z}} ; \quad (9)$$

в) для серии скорости резания  $v$

$$P_X = C_{P_{X3}} \cdot v^{Z_{P_X}} ; P_Y = C_{P_{Y3}} \cdot v^{Z_{P_Y}} ; P_Z = C_{P_{Z3}} \cdot v^{Z_{P_Z}} ,$$

где частные коэффициенты включают в себя все постоянные в данной серии множители, а именно:

$$\left. \begin{aligned} C_{P_{X1}} &= C_{P_X} \cdot S^{Y_{P_X}} \cdot v^{Z_{P_X}} ; C_{P_{Y1}} = C_{P_Y} \cdot S^{Y_{P_Y}} \cdot v^{Z_{P_Y}} ; \\ C_{P_{Z1}} &= C_{P_Z} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}} ; \\ C_{P_{X2}} &= C_{P_X} \cdot t^{X_{P_X}} \cdot v^{Z_{P_X}} ; C_{P_{Y2}} = C_{P_Y} \cdot t^{X_{P_Y}} \cdot v^{Z_{P_Y}} ; \\ C_{P_{Z2}} &= C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot v^{Z_{P_Z}} ; \\ C_{P_{X3}} &= C_{P_X} \cdot t^{X_{P_X}} \cdot S^{Y_{P_X}} ; C_{P_{Y3}} = C_{P_Y} \cdot t^{X_{P_Y}} \cdot S^{Y_{P_Y}} ; \\ C_{P_{Z3}} &= C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} . \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

## СТРУКТУРА ОТЧЁТА

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Схема действия сил резания, схема соединения приборов динамометрической установки, принципиальная схема динамометра.
5. Описание схемы действия сил.
6. Описание оборудования и аппаратуры.
7. Математическая обработка результатов эксперимента.
8. Формулы общего вида составляющих сил резания с полученными значениями коэффициентов и показателей степени.
9. Анализ полученных формул и выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы действуют на режущие поверхности инструмента?
2. Объяснить схему действия сил резания.
3. Каково значение составляющих сил резания  $P_x, P_y, P_z$ ?
4. Как влияют элементы режима резания на составляющие силы резания?
5. Объяснить принцип устройства трёхкомпонентного тензометрического динамометра.
6. Как производится обработка данных динамометрических измерений в логарифмической системе координат?
7. Как производится определение значений коэффициентов и показателей степени при переменных  $t, S$  и  $v$ ?
8. Что сильнее влияет на силы резания: глубина резания  $t$ , подача  $S$  или скорость резания  $v$ ?

ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ

Серии	№ опыта	Условия обработки резанием									Силы резания при любой обработке			Силы резания при осевой обработке		Примечание		
		$n$	$v$	$S$	$t$	$\gamma$	$D$	$a$	$b$	$\ell$	$P_x$	$P_y$	$P_z$	$P_{oc}$	$M$			
		$\frac{\text{об}}{\text{МИН}}$	$\frac{\text{М}}{\text{МИН}}$	$\frac{\text{ММ}}{\text{об}}$	ММ	град	ММ	ММ	ММ	ММ	кг	кг	кг	кг	КГМ			
серия $v$	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
серия $S$	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
серия $t$	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	

## Лабораторная работа 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить схему действия сил резания.
2. Ознакомиться с приборами, используемыми при исследовании сил резания.
3. Исследовать влияние глубины резания  $t$ , подачи  $S$ , и скорости резания  $v$  на составляющие силы резания.
4. Освоить методику математической обработки результатов эксперимента и получение степенных эмпирических формул.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение схемы действия сил резания.
2. Исследование сил резания в зависимости от элементов режима резания ( $t$ ,  $S$  и  $v$ ).
3. Определение показателей степени и коэффициентов в степенных формулах для сил.
4. Выполнение анализа полученных конкретных эмпирических зависимостей сил резания от элементов режима резания.
5. Оформление отчёта и формулирование выводов по работе.

#### СИСТЕМА СИЛ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

В случае резания инструментом с углом наклона кромки  $\lambda$ , близки к нулю, можно считать, что направление движения стружки по передней поверхности совпадает с главной секущей плоскостью. При рассечении зоны резания главной секущей плоскостью, проходящей через среднюю точку рабочего участка режущей кромки, как это показано на рис. 5.1 (точка  $O$ ), на режущих поверхностях инструмента можно увидеть следующие силы взаимодействия резца со стружкой и заготовкой:

На передней поверхности – нормальная сила  $N_n$  и сила трения  $F_n$  стружки о переднюю поверхность инструмента; на задней поверхности – нормальная сила  $N_z$  и сила трения  $F_z$  поверхности резания заготовки с заднюю поверхность (площадку износа) инструмента.

По значению и распределению касательных сил (сил трения) судят об интенсивности износа поверхности инструмента и режущей кромки, производят расчёт тепловыделения и контактной температуры, оценивают напряжённость процесса резания. По значению нормальных сил определяют

прочность режущей части инструмента, напряжённость процесса стружкообразования и т.д. Кроме того, силы трения и нормального давления дают возможность рассчитать важный показатель процесса резания – коэффициент трения.

Определить силы  $N_n, F_n, N_z$  и  $F_z$  экспериментально в настоящее время трудно, так как они являются внутренними силами системы резец-заготовка-стружка. Если их геометрически сложить по правилу многоугольника, как показано на рис. 5.1, то получим равнодействующую силу сопротивления резанию (силу  $P$ ). Эта сила действует на инструмент и направлена в его тело. Равнодействующую силу измерить экспериментально также затруднительно, так как она имеет в общем случае неопределённое пространственное расположение.

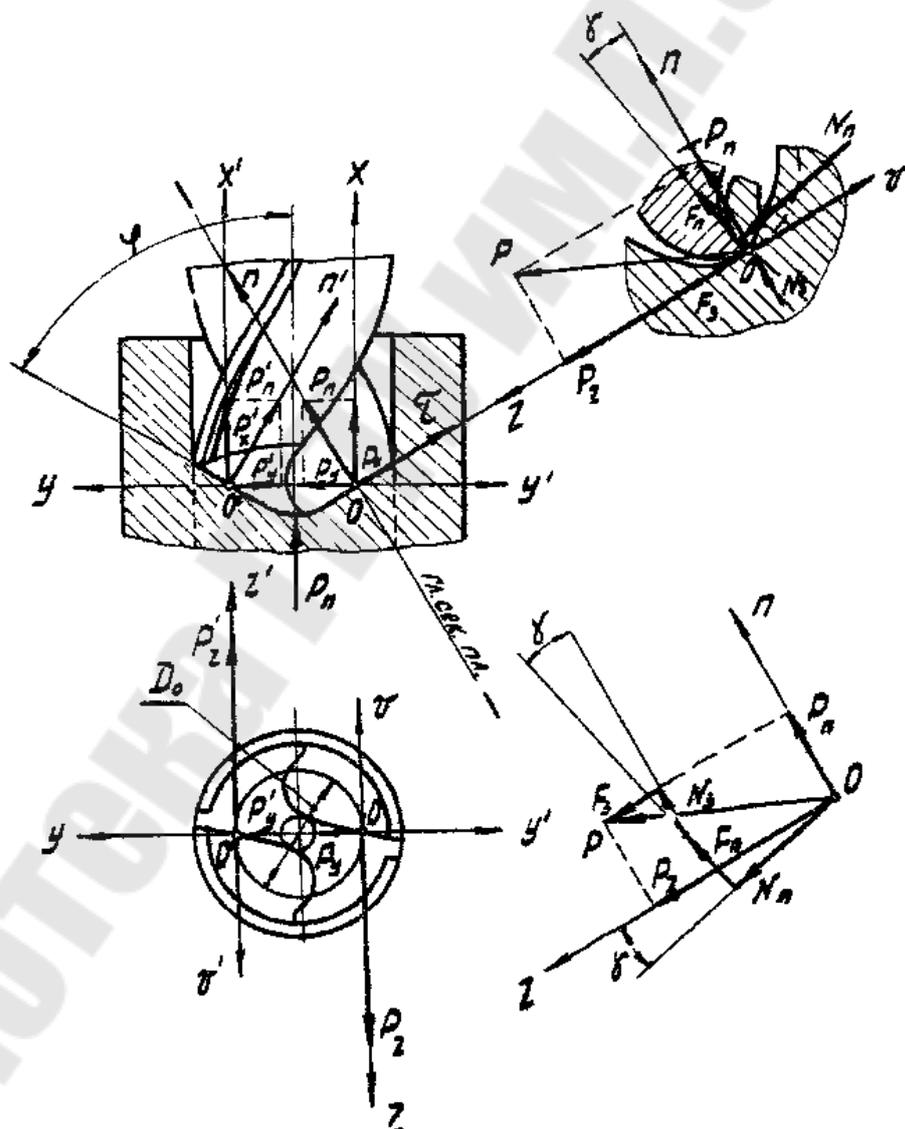


Рис. 5.1. Схема разложения сил резания на составляющие при сверлении

Для облегчения экспериментального определения сил резания, равнодействующую силу (силу  $P$ ) проектируют на три взаимно перпендикулярные оси технологической координатной системы  $XVZ$ .

Начало этой системы координат (точка  $O$ ) должно располагаться в средней точке рабочего участка режущей кромки инструмента, а оси координат – приходиться следующим образом:

- ось  $OX$  - вдоль оси главного вращательного движения;
- ось  $OY$  - по радиусу главного вращательного движения;
- ось  $OZ$  - вдоль вектора скорости главного движения.

После разложения силы  $P$  на координатные оси на каждой режущей кромке получают три составляющие: осевую  $P_X$ , радиальную  $P_Y$  и тангенциальную  $P_Z$ . Каждая из этих сил оказывает на процесс резания вполне определённое воздействие. Сила  $P_X$  влияет на механизм подачи станка, изгиб резца и упорные подшипники шпинделя; сила  $P_Y$  оказывает влияние на отжим резца от заготовки, деформацию детали, точность обработки, радиальные подшипники шпинделя; сила  $P_Z$  определяет мощность привода главного движения и крутящий момент на шпинделе станка, влияет на прочность инструмента и механизма коробки скоростей, изгиб заготовки, радиальные подшипники шпинделя, точность и шероховатость обработки и другие параметры процесса резания. В связи с таким значительным влиянием силы  $P_Z$  её также называют главной составляющей.

Каждую из составляющих можно измерить экспериментально. Зная силы  $P_X, P_Y$  и  $P_Z$ , рассчитывают равнодействующую силу резания по формуле:

$$P = \sqrt{P_X^2 + P_Y^2 + P_Z^2} \quad (1)$$

На рис.5.1 представлена схема сил, действующая на сверло со стороны каждой режущей кромки. Как показано на виде на сверло снизу, последнее изображено так, что средняя точка  $O$  главной режущей кромки расположена в плоскости чертежа.

Такое положение сверла на рис.2 позволяет наиболее удобно провести координатные оси технологической системы  $XYZ$ . В сечении лезвия главной секущей плоскостью в точке  $O$  располагаются контактные силы  $N_n, F_n, N_3$  и  $F_3$ . После сложения этих сил по правилу верёвочного многоугольника (в стороне от сечения) и переноса равнодействующей  $P$  в точку  $O$  сечения главной секущей плоскостью, определены проекции силы сопротивления резанию  $P$  на координатные оси, причём, как и при точении, это сделано в два приёма с использованием нормальной силы  $P_n$ .

Поскольку сверление осуществляется двумя главными режущими кромками, при правильной заточке сверла радиальные силы на этих кромках  $P_Y$ , приложенные к двум диаметрально и симметрично расположенным точкам  $O$ , взаимно уничтожаются и не оказывают влияния на процесс сверления. Только в случае неправильной заточки сверла может появиться

разность между силами  $P_Y$ , приводящая сверло в процессе сверления к уходу в сторону и поломке.

Остальные силы, т.е. силы  $P_X$  и  $P_Z$  на одной кромке и соответствующие им силы на другой кромке, действуют совместно. Силы  $P_X$ , складываясь друг с другом, с силой сопротивления перемычки  $P_n$  и силами трения на ленточках сверла  $P_{л}$ , образуют осевую силу сверла  $P_o$ , т.е.

$$P_o = 2P_X + P_n + 2P_{л} \quad (2)$$

Силы  $P_Z$  на главных режущих кромках, направленные в разные стороны, образуют момент, который совместно с моментом трения на перемычке  $M_n$  и на ленточках сверла  $M_{л}$  образует общий момент сверления  $M_c$ , т.е.

$$M_c = P_Z D_o + M_n + M_{л} \quad (3)$$

Таким образом, при сверлении имеют место две результирующие силовые величины: осевая сила  $P_o$  и момент сверления  $M_c$ . Эти величины и определяются экспериментально.

Следует отметить, что в состав равенств (2) и (3) не вошли составляющие, выражающие сопротивление трения сходящей стружки о поверхность стружечной канавки. Экспериментальные значения величин  $P_o$  и  $M_c$  учитывают это сопротивление.

Крутящий момент и осевую силу резания можно рассчитать с использованием эмпирических формул

$$M = C_p D^{x_p} S^{y_p} K_p, \text{ Н}$$
$$P_o = C_p D^{x_p} S^{y_p} K_p$$

В данной лабораторной работе задача сводится к получению экспериментальным путём численных значений коэффициентов и показателей степени в приведённых формулах. Для этого необходимо провести опыты по исследованию усилий резания в зависимости от параметров ( $2\phi, D, S$  и  $v$ ). В условиях лабораторной работы поправочные коэффициенты равны единице.

Математическая обработка результатов эксперимента аналогична методике приведённой в лабораторной работе №4.

## СТРУКТУРА ОТЧЁТА

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Схема действия сил резания, схема соединения приборов динамометрической установки, принципиальная схема динамометра.
5. Описание схемы действия сил.
6. Описание оборудования и аппаратуры.
7. Математическая обработка результатов эксперимента.
8. Формулы общего вида составляющих сил резания с полученными значениями коэффициентов и показателей степени.
9. Анализ полученных формул и выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы действуют на режущие поверхности инструмента?
2. Объяснить схему действия сил резания.
3. Каково значение составляющих сил резания  $P_x, P_y, P_z, P_o, M_c$ ?
4. Как влияют элементы режима резания на составляющие силы резания?
5. Объяснить принцип устройства трёхкомпонентного тензометрического динамометра.
6. Как производится обработка данных динамометрических измерений в логарифмической системе координат?
7. Как производится определение значений коэффициентов и показателей степени при переменных ( $2\varphi, D, S$  и  $v$ )?
8. Что сильнее влияет на силы резания: глубина резания  $D$  подача  $S$  или скорость резания  $v$ ?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новосёлов Ю.А. Кинематика резания. ГПИ, Гомель, 1985.
2. Новоселов Ю.А. Исследование сил резания. Методическая разработка о учебно-исследовательской лабораторной работе по дисциплине «Теория резания». ГПИ, Гомель 1997.
3. Новоселов Ю.А. Математическая обработка результатов эксперимента. Методические указания по анализу результатов УИРС и НИРС по дисциплине «Теория резания» для студентов спец. 0501. ГПИ, Гомель 1997.
4. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. Изд.3-е под ред. Г.А. Монахова. М., «Машиностроение», 1974.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА	3
2. Лабораторная работа 2 ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ	15
3. Лабораторная работа 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ДЕФОРМАЦИИ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ	18
4. Лабораторная работа 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ	27
5. Лабораторная работа 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ	41
ЛИТЕРАТУРА	47

**Михайлов Михаил Иванович  
Кириленко Дмитрий Викторович**

## **РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

**Практикум  
по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-36 01 03 «Технологическое  
оборудование машиностроительного производства»  
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 30.10.17.

Пер. № 101Е.  
<http://www.gstu.by>