

**Министерство образования Республики Беларусь**

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

**Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»**

**М. И. Михайлов**

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ:  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2014**

УДК 621.9(075.8)  
ББК 34.63-5я73  
М69

Рецензенты: зав. каф. «Материаловедение и технологии материалов»  
Белорусского государственного университета транспорта  
д-р техн. наук, проф. *П. Н. Богданович*;  
доцент каф. «Металлорежущие станки и инструменты»  
Белорусского национального технического университета  
канд. техн. наук *М. А. Корниевич*

**Михайлов, М. И.**

М69      Инструментальные системы: Лабораторный практикум : учеб. пособие / М. И. Михайлов ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 248 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: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-243-4.

Приведены описания конструкций металлорежущих инструментов для автоматизированных и неавтоматизированных производственных структур и практические рекомендации по их применению. Даны примеры проведения лабораторных работ и оформления результатов.

Для студентов машиностроительных специальностей вузов.

**УДК 621.9(075.8)**  
**ББК 34.63-5я73**

**ISBN 978-985-535-243-4**

© Михайлов М. И., 2015  
© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2015

# Лабораторная работа № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

В серийном и крупносерийном производстве при частичной или полной автоматизации процессов механической обработки фасонные резцы применяют в качестве основного вида режущего инструмента для обработки фасонных поверхностей деталей.

Тщательно рассчитанные и точно изготовленные фасонные резцы при правильной установке их на станках обеспечивают высокую производительность, точные форму и размеры однотипных деталей в больших партиях, что, в свою очередь, позволяет обеспечить взаимозаменяемость деталей и бесперебойный технологический процесс сборки машин. Рабочие невысокой квалификации могут обрабатывать детали фасонными резцами на револьверных станках, полуавтоматах и автоматах. Точность же фасонного профиля резцов обеспечивают либо квалификационные рабочие на универсальных станках, либо рабочие средней квалификации на станках с ЧПУ в инструментальных цехах.

Особое значение приобретают фасонные резцы относительно несложного профиля, изготовленные с пластинами из твердого сплава, обеспечивающего более высокую производительность по сравнению с фасонными резцами из быстрорежущей стали.

В современном машиностроении для точения фасонных поверхностей применяют преимущественно радиальные призматические и круглые фасонные резцовые головки; менее распространены тангенциальные и обкаточные.

*Цель работы:* получение навыка в определении эксплуатационных показателей фасонных резцов.

### Порядок выполнения работы

1. Получить исходные данные у преподавателя:

а) тип резца; б) вид обработки (радиальная, тангенциальная, осевая); в) расположение оси резца (или базовых поверхностей) относительно оси заготовки (параллельно оси заготовки или под углом); г) материал детали; д) модель станка, на котором должна обрабатываться заготовка; е) требуемая точность размеров детали.

2. Обосновать конструкционные элементы резца.

Передняя и задняя поверхности призматических и круглых фасонных резцовых головок могут быть расположены различно. Однако

передняя поверхность чаще всего располагается под углом  $\gamma$ . В этом случае при плоскостном способе профилирования резца наибольшая погрешность будет на конических участках детали. Если передняя поверхность расположена под углами  $\gamma$  и  $\lambda$ , причем  $\lambda$  выбирается так, чтобы часть режущей кромки, обрабатывающая конический участок детали, располагалась вдоль ее образующей (рис. 1, *в, г*), то точность обработки конических участков повышается. Базовая поверхность крепления резцовой головки может быть расположена параллельно оси обрабатываемой детали (рис. 1, *а, б*) или под углом (рис. 1, *в, г, е*). Расположение под углом базовых поверхностей резцовой головки позволяет уменьшить силы трения на вспомогательных кромках и деформации детали, но такое расположение возможно только в резцах, обрабатывающих односторонние открытые поверхности детали. Кроме того, такое расположение резцовой головки требует более сложных движений станка. Отдельные конструкции резцовых головок можно использовать как осевые (рис. 1, *д*), при этом все задние поверхности должны быть выполнены под положительными углами. В конструкциях дисковых резцовых головок это приводит к тому, что направляющая задней поверхности будет винтовой.

При обработке длинных деталей радиальными фасонными резцами возникают большие силы резания, которые изгибают заготовку, что приводит к погрешностям профиля детали. Кроме того, незначительное изменение толщины срезаемого слоя (в результате деформаций детали или технологической системы, недостаточного качества материала детали) приводит к потере устойчивости процесса обработки и возникновению вибраций.

В таких случаях используют тангенциальные резцы (рис. 1, *з*), кромки которых выполняют под углом  $\lambda$ . Вследствие этого фасонные поверхности детали обрабатываются не сразу по всему контуру, а постепенно.

Тангенциальные резцы по внешнему виду похожи на призматические радиальные. Точность обработки ими зависит от точности установки режущих лезвий относительно оси вращения заготовки. Движение подачи направлено по касательной к обрабатываемой фасонной поверхности детали.

В отдельных случаях при обработке нежестких деталей используются обкаточные фасонные резцовые головки (рис. 1, *и*).

Недостатком таких резцовых головок является низкая жесткость и требуемое дополнительное движение поворота головки вокруг своей оси.





### 3. Выбрать державку резцовой головки.

Для выбора державки необходимо определить размеры базовых элементов суппортов заданного станка [1]. При переточке фасонных резцовых головок на некоторую величину  $\mu$  вершина резцовой головки  $l$  оказывается в точке  $1'$ , т. е. ниже центра детали на величину  $\Delta$  (рис. 2).

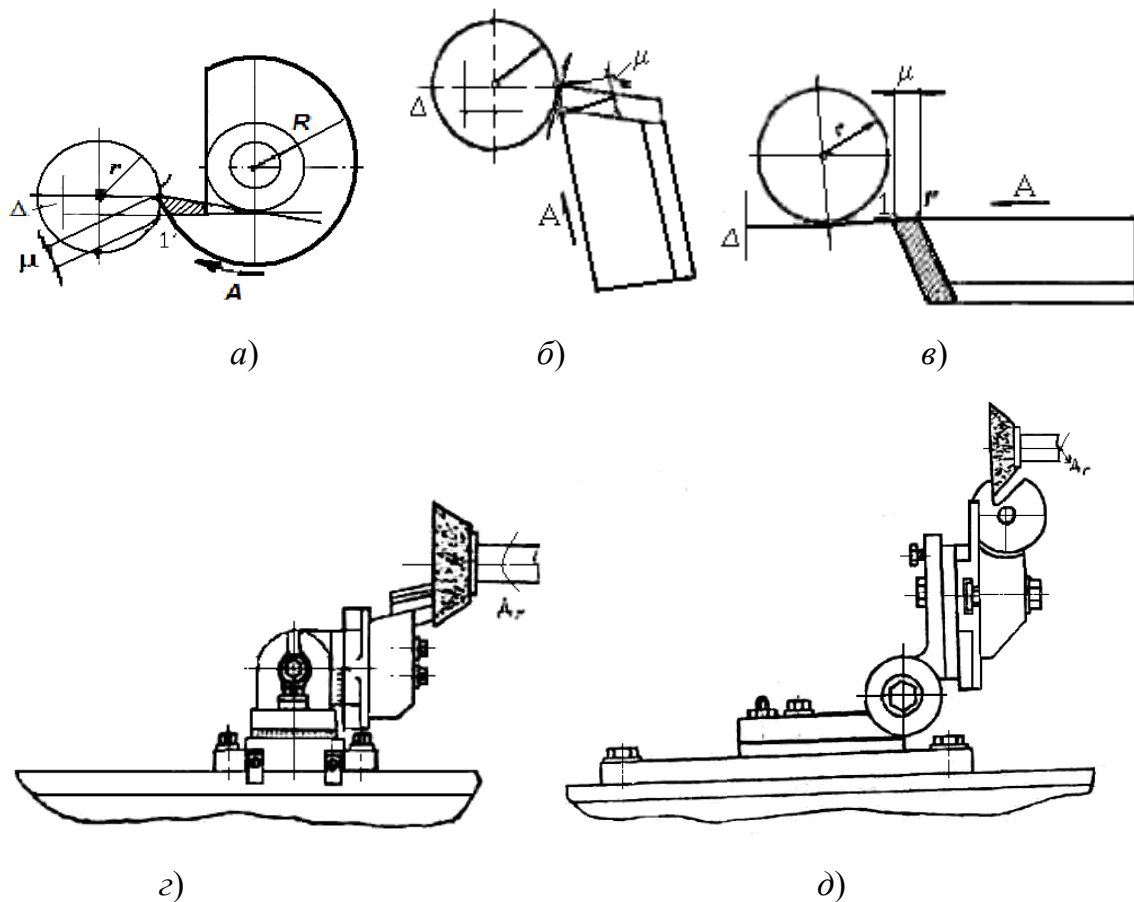


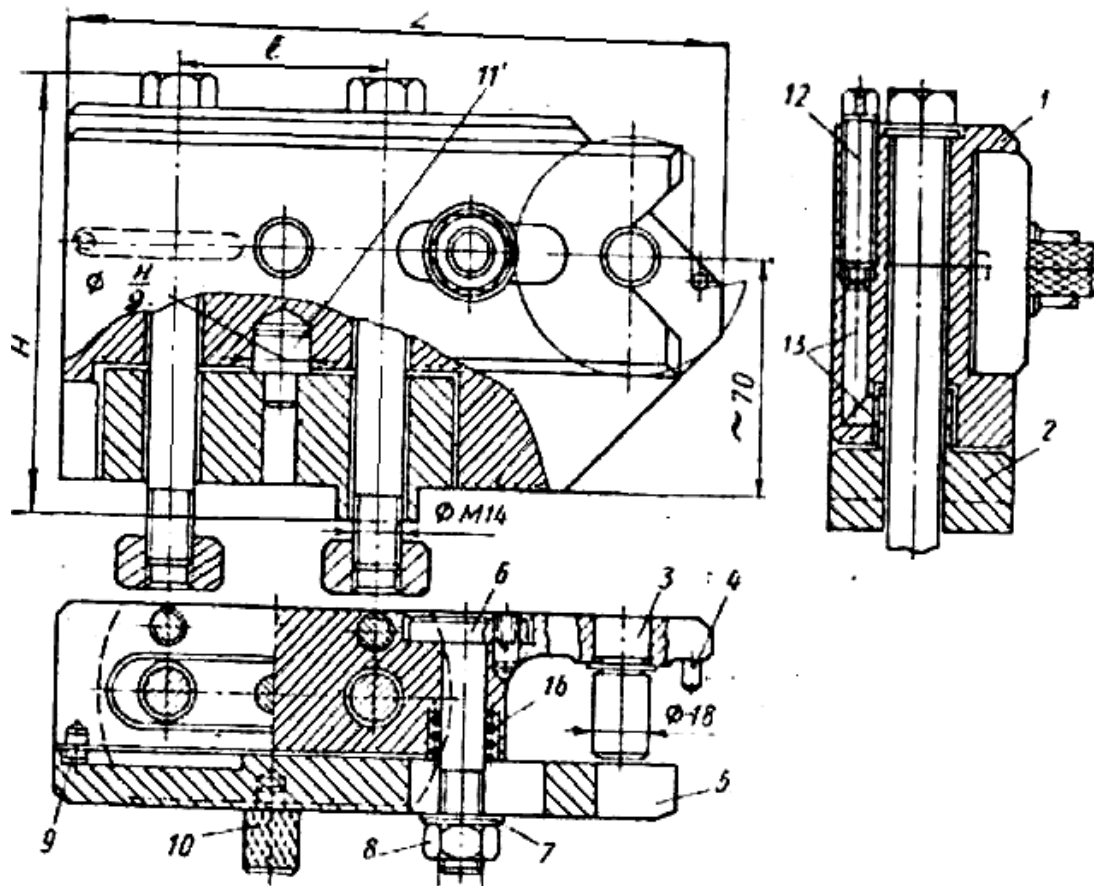
Рис. 2. Схемы наладки при заточке фасонных резцовых головок

Чтобы не допустить искажения профиля обработанной детали и сохранить заданные передние и задние углы, вершина переточенной резцовой головки должна занять исходное положение. Для этого круглые радиальные резцовые головки поворачивают в направлении стрелки  $A$ , а призматические резцовые головки (радиальные и тангенциальные) перемещают в направлении  $A$ . Для изменения положения винтовых фасонных резцовых головок необходимо их поворачивать в направлении стрелки  $A$  и перемещать в осевом направлении на величину  $l = P\Delta / \pi D$  или  $l = \Delta \operatorname{tg} \sigma$ , где  $P$  – шаг винтовой линии;  $D$  – наибольший диаметр резцовой головки;  $\sigma$  – угол подъема винтовой линии по наибольшему диаметру резцовой головки.

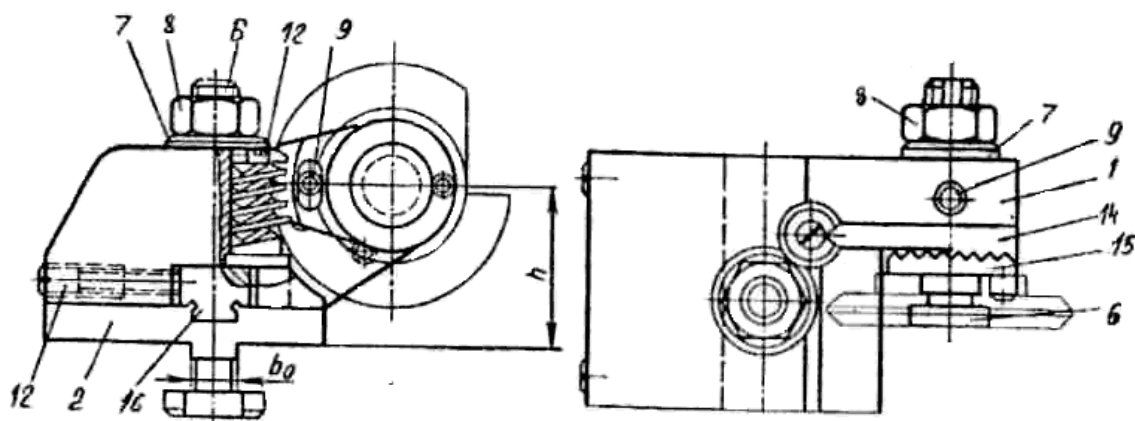
Существующие конструкции державок для круглых фасонных резцовых головок допускают грубую и тонкую регулировки положения резцовых головок по высоте центра детали.

Грубая регулировка осуществляется поворотом резцовой головки относительно регулировочного сектора на один-два зуба зубчатого венца (рис. 3, б; 4, а-в; 5, а, б). Для этого необходимо ослабить крепежную гайку или винт так, чтобы можно было резцовую головку вместе с установочной шайбой вывести из зацепления с зубцами регулировочного сектора. После поворота резцовой головки вместе с установочной шайбой на требуемое число зубцов установочная шайба снова вводится в зацепление с регулировочным сектором; гайка слегка затягивается. Окончательная затяжка крепежной гайки или винта производится после тонкой регулировки.

Тонкая регулировка круглых фасонных резцовых головок осуществляется с помощью: а) сектора и винта (рис. 3, б; 4, а, б; 5, а; 6, а); б) эксцентриковой втулки; в) дифференциального винта (рис. 5, б и 6, б). При вращении регулировочного винта поворачивается связанный с винтом регулировочный сектор. Поворот осуществляется до тех пор, пока точка 1 не займет положение точки 1' (рис. 2), что фиксируется штангенрейсмусом или специальным штифтом – упором (рис. 3, а; 5, б), или откидным регулируемым упором (рис. 5, а). Иногда регулировочный сектор имеет на конце зубья, которые входят в зацепление с резьбой регулировочного винта (рис. 3, б; 5, а). В этом случае конструкция державки должна обеспечивать неподвижность его в осевом направлении. Кроме того, державки, закрепляемые непосредственно на суппорте станка, имеют промежуточную плиту (рис. 3, а, б; рис. 6, б), или планку (рис. 5, а, б), относительно которой регулировочными винтами производится поворот или смещение державки для обеспечения параллельного расположения осей детали и резцовой головки. Правильность положения базовой поверхности резцового блока относительно оси детали контролируется двумя методами: на просвет и с помощью угольника. При контроле на просвет режущее лезвие резцового блока, параллельное оси, подводят к обработанной цилиндрической поверхности детали или к поверхности шлифовальной контрольной оправки, закрепляемой в шпинделе станка.

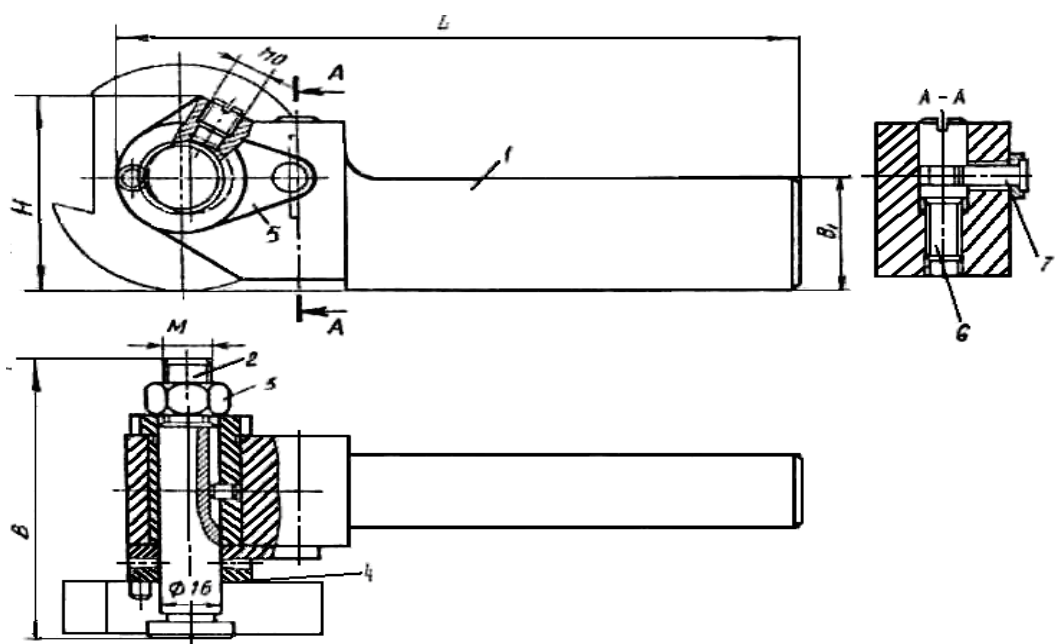


a)

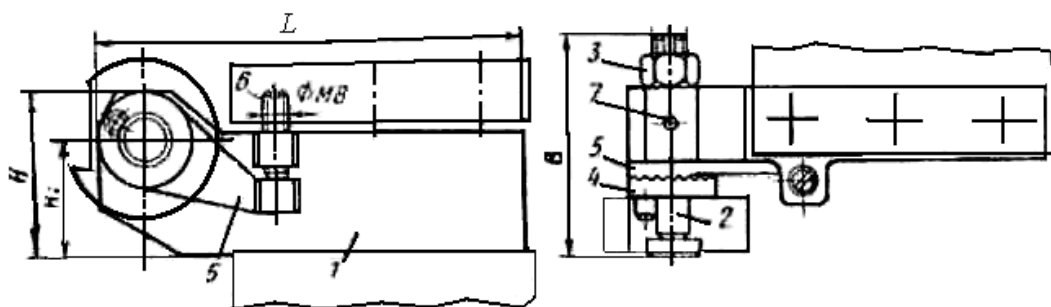


б)

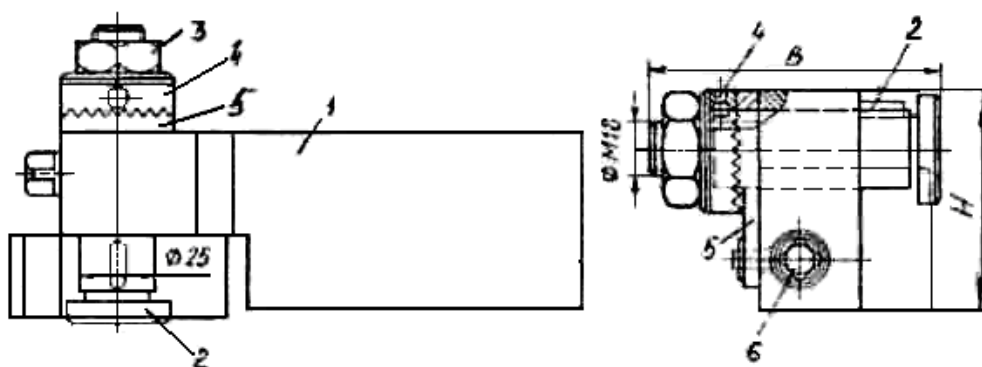
Рис. 3. Эскизы державок для крепления дисковых фасонных резцовых головок на суппорте станка: 1 – корпус; 2 – плита; 3 – опорный палец; 4 – ограничитель; 5 – прижим; 6 – зажимной болт; 7 – шайба; 8 – гайка; 9 – штифт; 10 – ручка прижима; 11 – поворотная опора; 12 – регулировочные винты; 13 – вставка; 14 – регулировочный сектор; 15 – установочная шайба; 16 – направляющая планка



a)



b)



v)

Рис. 4. Эскизы державок для крепления дисковых резцовых головок в резцедержателях станков: 1 – корпус; 2 – опорный болт; 3 – зажимная гайка; 4 – шайба; 5 – регулировочный сектор; 6 – регулировочный винт; 7 – штифт

При неодинаковом просвете между оправкой и лезвием резцового блока, параллельном оси детали, поворотом резцового блока производится регулировка до тех пор, пока просвет по всей длине будет одинаковым. Контроль с помощью угольника производится в том случае, если резцовый блок не имеет лезвия, расположенного параллельно оси детали, которое можно совместить с образующей цилиндрической оправки.

Иногда корпус державок поворачивается вокруг оси поворотной опоры (рис. 3, *a*), один конец которой входит в корпус державки с посадкой *H7/g6*, а другой запрессован в плите. Часто и ось поворота выполнена в виде штифта, один конец которого запрессован в корпус державки, а другой по посадке с зазором входит в шпонку.

Регулировка призматических радиальных и тангенциальных резцовых головок по высоте центра детали осуществляется обычным регулировочным винтом, ввинчиваемым либо в тело резцовой головки и фиксируемым контргайкой, либо в опорную планку (рис. 7, *a, б*).

Крепление резцовых головок в державке осуществляется прижимами и винтами. Державки, устанавливаемые на суппорте станка (рис. 7, *б*), имеют механизм настройки их относительно детали, который чаще всего выполнен в виде планки с регулировочным винтом.

При работе тангенциальными фасонными резцами требуемый диаметр детали достигается наладочным перемещением резца в вертикальной плоскости. В некоторых конструкциях державок регулирование осуществляется с помощью клина (рис. 8, *б* и 9, *a*), который перемещается винтом.

Механизм продольной регулировки резца аналогичен механизму поперечной регулировки радиальных резцов и осуществляется микрометрическим винтом.

При точной обработке деталей ( $\Delta = 0,03 \dots 0,05$  мм) тангенциальными резцами применяют специальные качающиеся державки с поддерживающим роликом (рис. 8 и 9).

Лезвие тангенциального резца устанавливают на определенном расстоянии от образующей поддерживающего ролика, равном диаметру обрабатываемой детали.

Все неточности шпинделя и зажимного патрона, вызывающие биение детали  $\sigma$ , а также возможный изгиб детали на некоторую величину, компенсируются тем, что державка вместе с роликом может покачиваться относительно оси. Если бы такое покачивание отсутствовало, то диаметр обработанной детали получился меньше на величину, равную  $2\sigma$ . Кроме того, величина качания должна регулироваться в определенных пределах, соответствующих биению прутка.

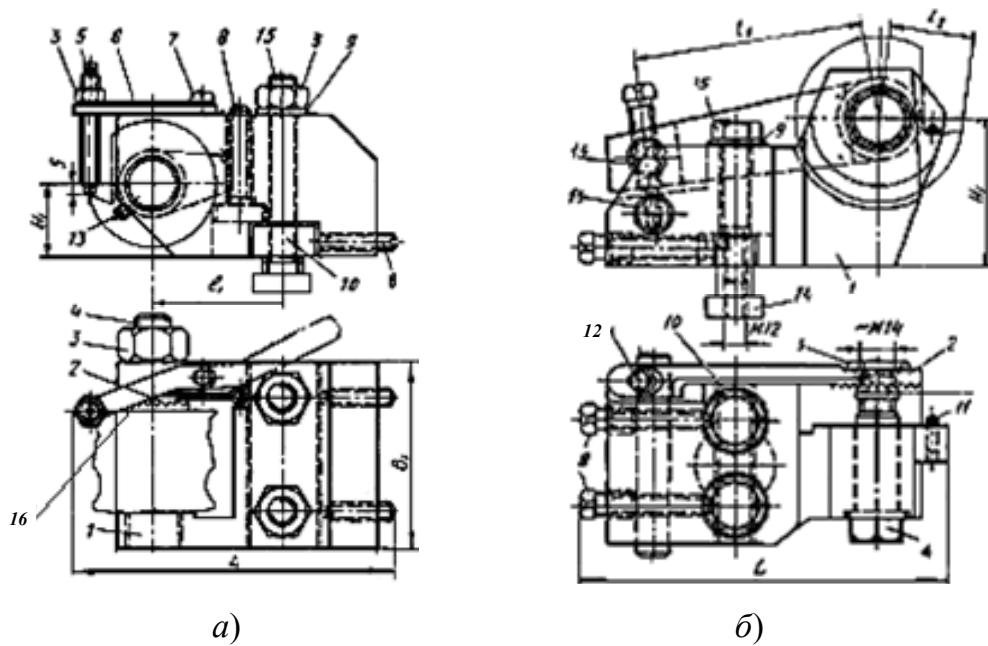


Рис. 5. Эскизы державок для крепления дисковых резцовых головок на суппорте станка:  
 1 – корпус; 2 – сектор; 3 – гайка; 4 – опорный болт; 5 – откидной упор;  
 6 – планка; 7 – винт; 8 – регулировочный винт; 9 – шайба; 10 – направляющая планка; 11 – упор; 12 – дифференциальный винт; 13 – палец;  
 14 – сухарь; 15 – болт; 16 – установочная шайба

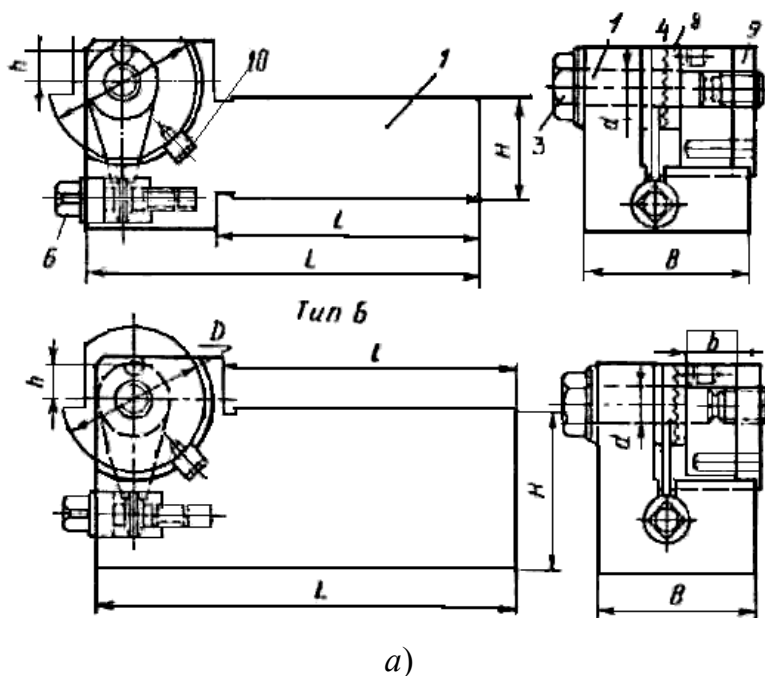
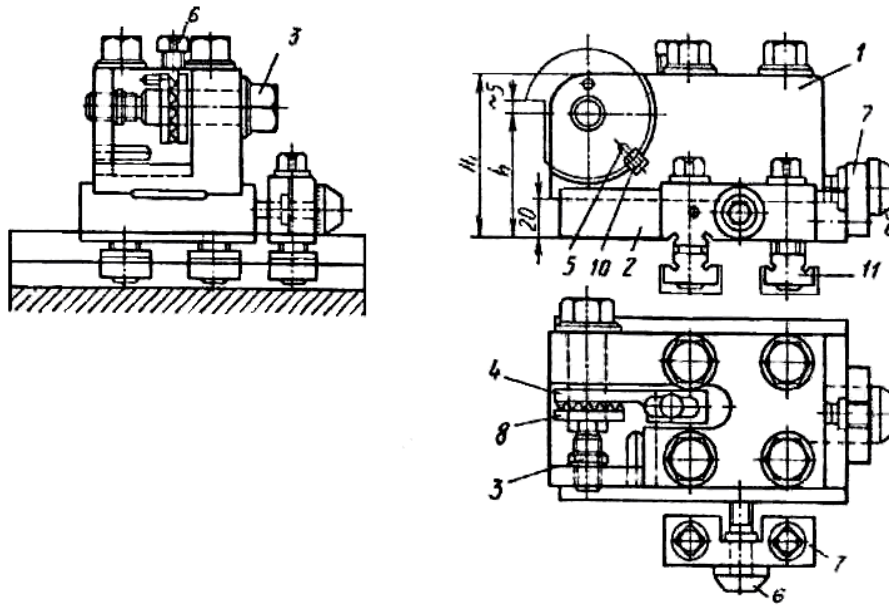


Рис. 6. Эскизы державок для крепления дисковых резцовых головок в резцедержателе (а) (начало, продолжение на с. 12)





б)

Рис. 6. Эскизы державок для крепления дисковых резцовых головок на суппорте (б): 1 – корпус; 2 – плита; 3 – опорный болт; 4 – регулировочный сектор; 5 – винт; 6 – дифференциальный винт; 7 – планка; 8 – установочная шайба; 9 – подвижная опора; 10 – шпонка; 11 – сухарь (окончание, начало на с. 11)

#### 4. Обосновать углы резца.

4.1. В зависимости от заданного материала детали выбирать значения передних углов по табл. 1

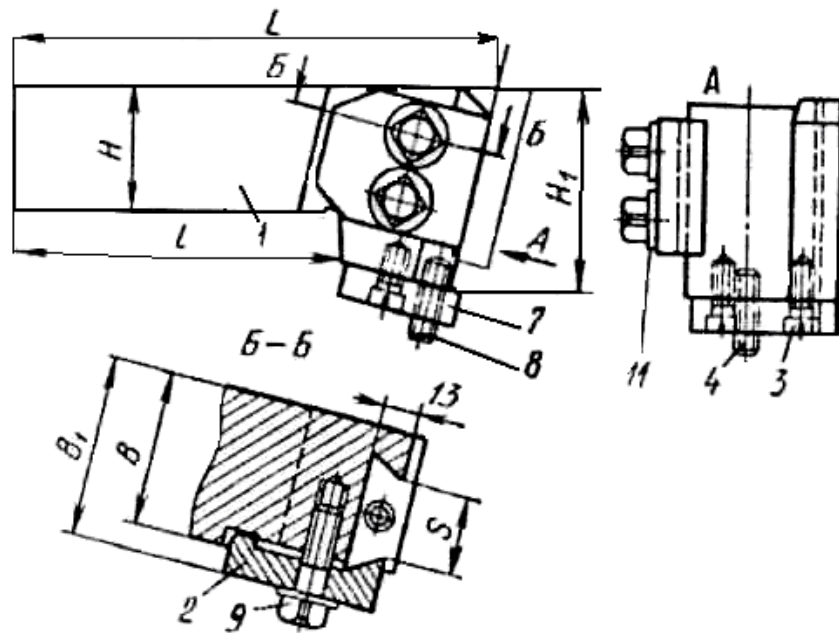
Таблица 1

Значения передних углов фасонных резцов

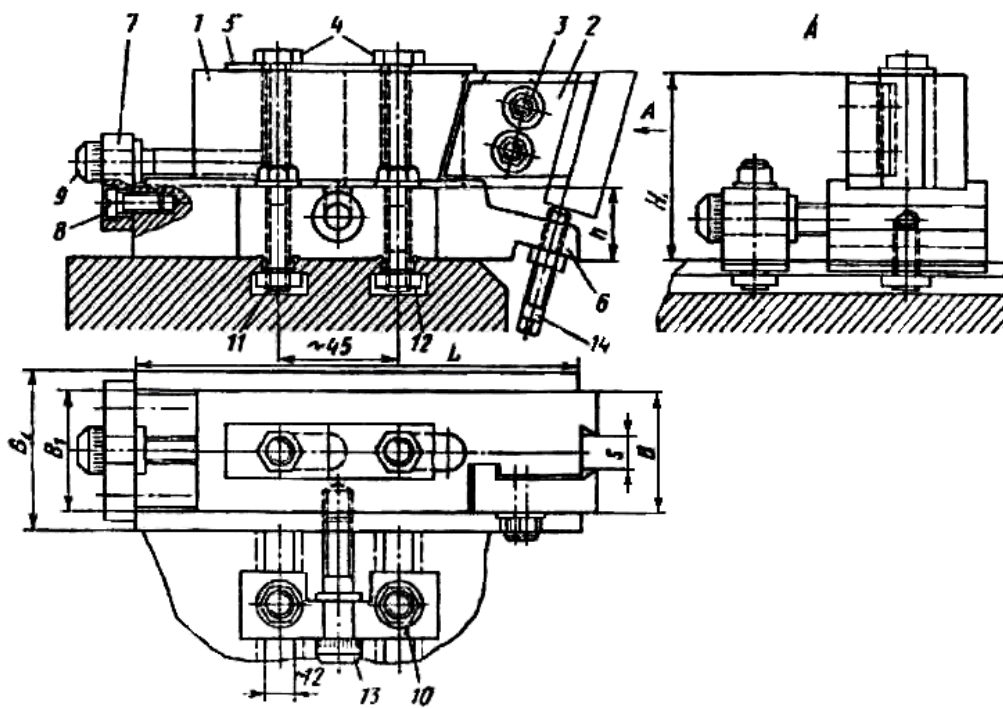
Обрабатываемый материал	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$\gamma^\circ$
Алюминий, медь	–	–	25–30
Сталь	< 500	150	20
	500 до 600	150–175	15
	Свыше 600 до 800	175–235	10
	> 800	235	10
Чугун	–	$\leq 180$	10
	–	180–200	5
	–	> 200	0
Бронза, латунь	–	–	0–5

Задний угол  $\alpha$  принимается в пределах  $10\dots 12^\circ$  для круглых резцовых головок и  $12\dots 15^\circ$  – для призматических резцовых головок.



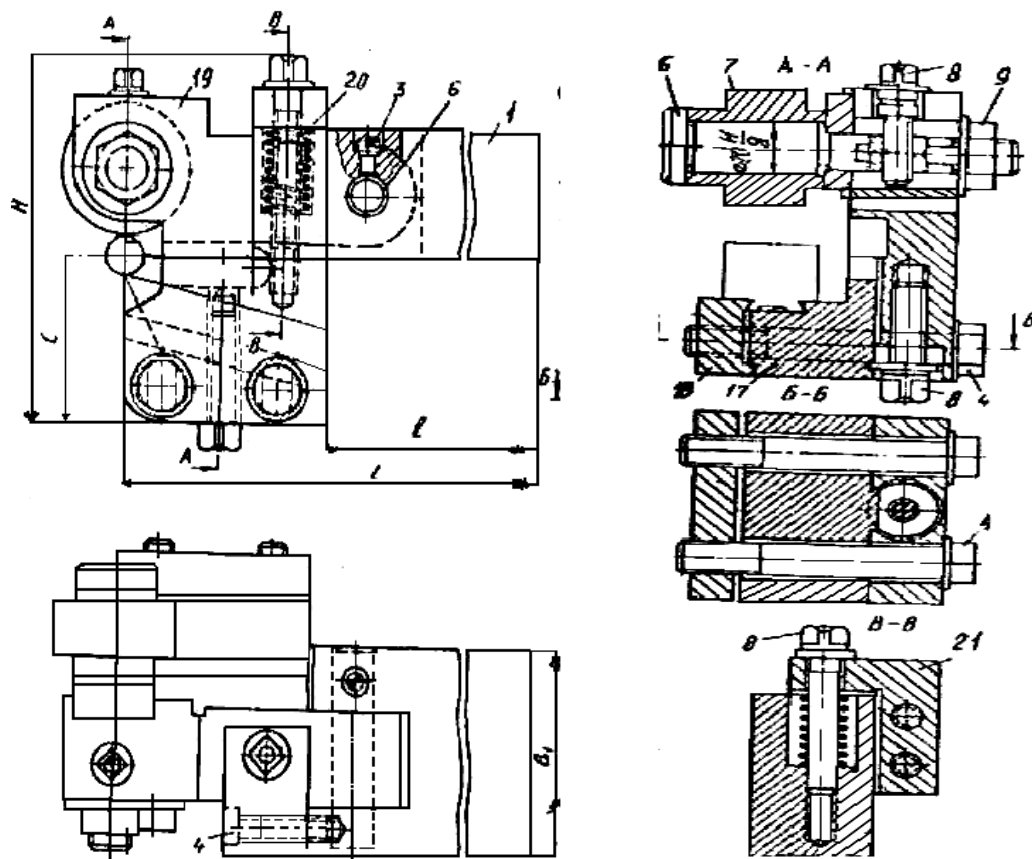


a)

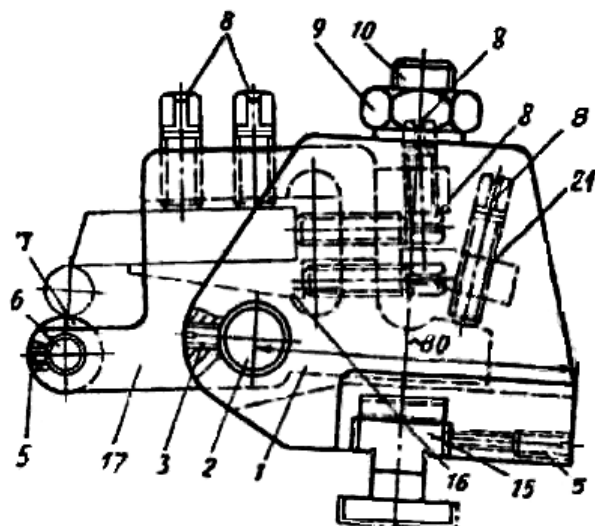


б)

Рис. 7. Эскизы державок призматических фасонных резцовых головок:  
 1 – корпус; 2 – прижим; 3, 8, 9, 11, 13, 14 – винты; 4 – болт;  
 5, 7 – планки; 6 – плита; 10 – стойка; 12 – сухарь



а)



б)

Рис. 8. Эскизы державок тангенциальных резцовых головок, закрепляемых в резцедержателях (а) и на суппорте станка (б): 1 – корпус; 2 – палец; 3–5, 8 – винты; 6 – ось; 7 – ролик; 9 – гайка; 10 – болт; 15 – планка; 16 – клин; 17 – державка; 18 – прижим; 19 – роликдержатель; 20 – пружина; 21 – угольник; 22 – ролик

**4.2.** Измерить угломерами углы  $(\alpha + \gamma)$  на резце.

**4.3.** Изобразить схему обработки (см. рис. 1). На схеме указывается значение переднего угла в точке режущей кромки резца, обрабатывающей наименьший радиус детали. Для круглой резцовой головки определяется величина смещения ее центра относительно центра детали  $h_p = R \sin \alpha$ , где  $R$  – наибольший радиус резцовой головки.

**4.4.** Измерить передние, задние углы в плане резца с помощью угломера или расчет их, по известным значениям радиусов круглой резцовой головки. Измерение углов в плане можно производить по отпечатку на модели из пластилина.

Для измерения передних углов призматическую резцовую головку необходимо установить на контрольной плите с помощью блока плоскопараллельных мер или предварительно закрепив ее в державке.

Для измерения передних углов дисковую резцовую головку необходимо установить либо в центрах прибора биения, либо на универсальном штативе, либо на державке.

**4.5.** Построить графики изменения углов  $\alpha_i$  и  $\gamma_i$  по длине режущей кромки. Для этого по одной оси откладываем значения передних и задних углов в главной секущей плоскости, а по другой – расстояние до измеряемой точки от одного из торцев резца.

Сравнивая значения углов  $\gamma$  с требуемыми по табл. 1, необходимо сделать заключение о годности резца, а также внести предложения по способам подточки резца с изображением их на эскизе резцовой головки.

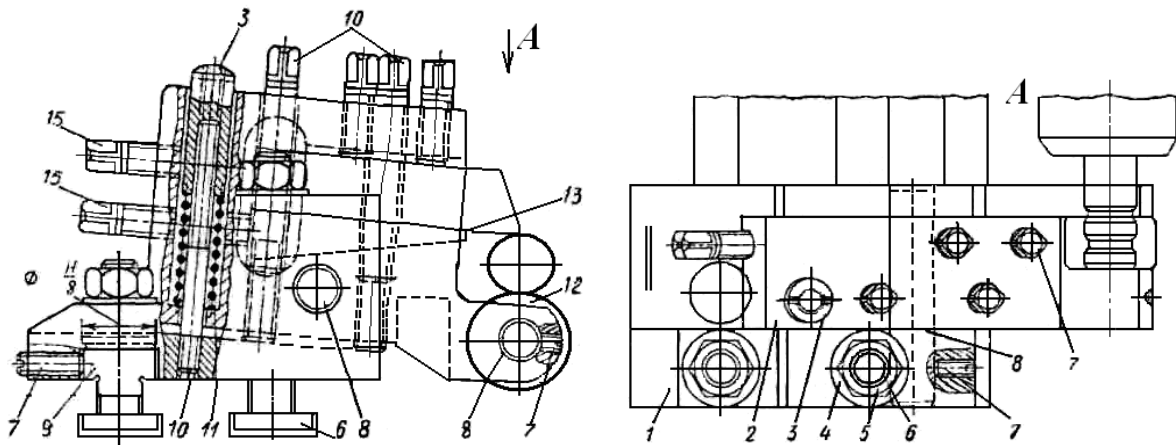
**5.** Определить кинематическую погрешность профиля детали, обработанной фасонным резцом.

**5.1.** Определить размеры профиля. В зависимости от заданной точности размеров профиля резцовой головки выбираем мерительный инструмент с погрешностью

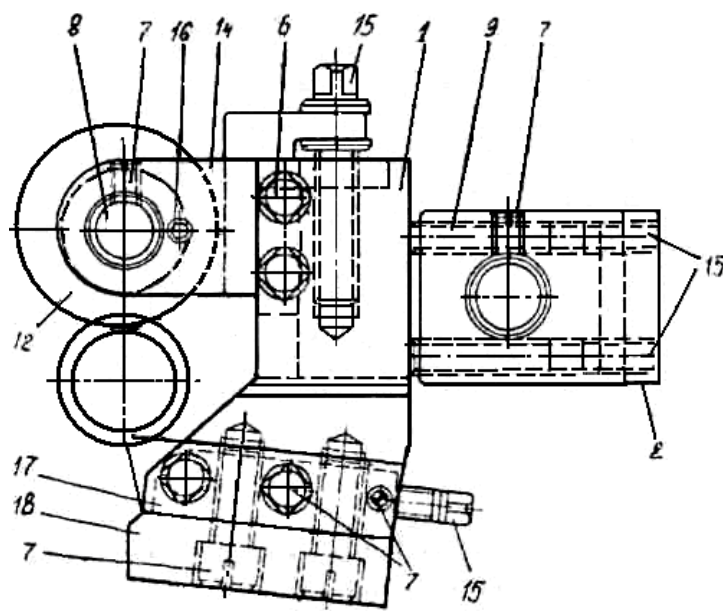
$$\Delta_{\text{ин}} = (0,6 \dots 0,8) A_{\text{изм}} \delta,$$

где  $A_{\text{изм}}$  – коэффициент, зависящий от качества размера резцовой головки;  $A_{\text{изм}} \leq 0,35$  – для квалитетов 2...5;  $A_{\text{изм}} \leq 0,3$  – для 6,7;  $A_{\text{изм}} \leq 0,25$  – для 8,9;  $A_{\text{изм}} \leq 0,2$  – для 10...16 квалитетов;  $\delta$  – допуск среднего контролируемого размера резцовой головки (задается преподавателем).

Измерение размеров профиля резцовой головки в сечении, нормальном к его задней поверхности, можно производить с использованием инструментального микроскопа, специального микрометра, микрометрической, рычажной или индикаторной скобы.



a)



б)

Рис. 9. Эскизы державок тангенциальных резовых головок, закрепляемых на суппорте (а) и в резцедержателе (б): 1 – корпус; 2 – державка; 3 – упор; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – болт; 7 – винт; 8 – палец; 9 – планка; 10 – шпилька; 11 – пружина; 12 – ролик; 13 – клин; 14 – роликoderжател; 15 – регулировочный винт; 16 – штифт; 17 – прижим; 18 – опорная планка

**5.2.** Полученные в результате измерений размеры необходимо пересчитать в размеры детали по следующим формулам:

а) для круглой резовой головки

$$r_i = \sqrt{\left( \frac{ktg(\alpha'_i + \gamma'_i) - c}{tg(\alpha'_i + \gamma'_i)} + r \cos \gamma \right)^2 + (r \sin \gamma)^2},$$

где  $r_i$  – радиус детали в  $i$ -й точке;  $k = R \cos(\alpha + \gamma)$ ;  $c = R \sin(\alpha + \gamma)$ ;  $\alpha_i$  и  $\gamma_i$  – значения заднего и переднего углов в рабочей плоскости резцовой головки;  $r$  – наименьший радиус детали (задан преподавателем);  $\alpha$  и  $\gamma$  – значения углов в рабочей плоскости для наиболее выступающей точки профиля резцовой головки;

б) для призматической резцовой головки

$$r_i = \frac{m_i \sin \gamma}{\sin t_i}; \quad m_i = h_i / \cos(\alpha + \gamma),$$

где  $h_i$  – расстояние от максимально выступающей точки профиля резцовой головки до рассматриваемой (измеренное по нормали к задней поверхности резца);  $\alpha$  и  $\gamma$  – значения заднего и переднего углов в рабочей плоскости для наиболее выступающей точки профиля резцовой головки;  $t_i = \arctg\left(\frac{m_i \sin \gamma}{m_i \cos \gamma + r}\right)$ .

Значения полученных радиусов детали округляем с точностью  $\Delta = 0,05$  и принимаем округленные значения за номинальные.

**5.3.** Определить кинематическую погрешность профиля детали:

$$\Delta_{1i} = r_i^H - r_i,$$

где  $r_i^H$  – округленное значение радиуса детали в  $i$ -й точке.

По справочнику [2] определяем для максимального из полученных значений  $\Delta_{1i}$  квалитет точности и сравниваем его с заданным преподавателем, если  $\Delta_{1\max} \leq \left(\frac{1}{3}\right)IT$ ,  $IT$  – допуск на размеры детали,

то резец годен для обработки требуемой детали.

**6.** Измерить отклонения расположения профиля резцовой головки относительно ее базовых поверхностей (для дисковой резцовой головки необходимо определить радиальное биение точек профиля, а для призматической резцовой головки – отклонение от параллельности поверхностей профиля относительно базовых).

**7.** Изобразить схему заточки инструмента (рис. 2, з, д).

При заточке фасонных резцовых головок могут быть использованы приспособления простых конструкций, позволяющих с точностью до  $\pm 30'$  устанавливать их под углом  $\xi = \alpha + \gamma$ .

Призматические резцовые головки могут непосредственно крепиться с помощью прижимов к плоскости подручника или в трехворотных тисках. Кроме того, их можно закрепить на заточном станке вместе с державкой (рис. 2, з).

Для крепления круглых резцовых головок могут быть использованы приспособления, позволяющие поворачивать резцовую головку вокруг оси и наклонять ее на угол  $\lambda$  [3]. Поворачивая резцовую головку вокруг оси, стачивают с ее передней поверхности слой металла, достаточный для восстановления режущих лезвий и удаления признаков износа фасонного профиля.

Используя литературные данные [4], [5], необходимо выбрать марку абразивного инструмента.

### **Структура отчета**

1. Записать исходные данные и изобразить схему обработки резцовых головок.
2. Описать обоснование конструктивных элементов резцовых головок.
3. Изобразить эскиз выбранной конструкции державки и описать ее.
4. Изобразить схему измерения углов резцовых головок
5. Изобразить график изменений углов резцовых головок.
6. Изобразить схему переточки резца и записать марку выбранного абразивного инструмента.
7. Привести рабочий чертеж резцовых головок.
8. Сделать заключение о годности резцовых головок по значениям углов и погрешностей обработки.

### **Контрольные вопросы**

1. Указать назначение фасонных резцовых головок.
2. Обосновать конструктивные элементы резцовых головок.
3. Изобразить схему обработки.
4. Назвать основные элементы державок резцовых головок.
5. Раскрыть методику регулировок резцовых головок.
6. Назвать критерии выбора углов резца и способы их обеспечения.
7. Обосновать выбранные средства измерения размеров резцовых головок.
8. Назвать причины возникновения кинематической погрешности детали.
9. Обосновать технические требования на резец.

## Литература

1. Обработка металлов резанием : справ. технолога / А. А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
2. Допуски и посадки : справочник / В. Д. Мягков [и др.] – Л. : Машиностроение, 1983. – Т. 1. – 544 с. ; Т. 2. – 487 с.
3. Наладка универсально-заточного станка : лаборатор. работа для студентов машиностр. профиля / М. И. Михайлов [и др.]. – Гомель : ГПИ, 1996. – 22 с.
4. Попов, С. А. Заточка и доводка режущего инструмента / С. А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.
5. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1987. – 846 с.

## Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

Из широкой номенклатуры режущих инструментов, применяемых для обработки отверстий, винтовые сверла, зенкеры и развертки являются наиболее распространенными видами (рис. 10, 11) [1].

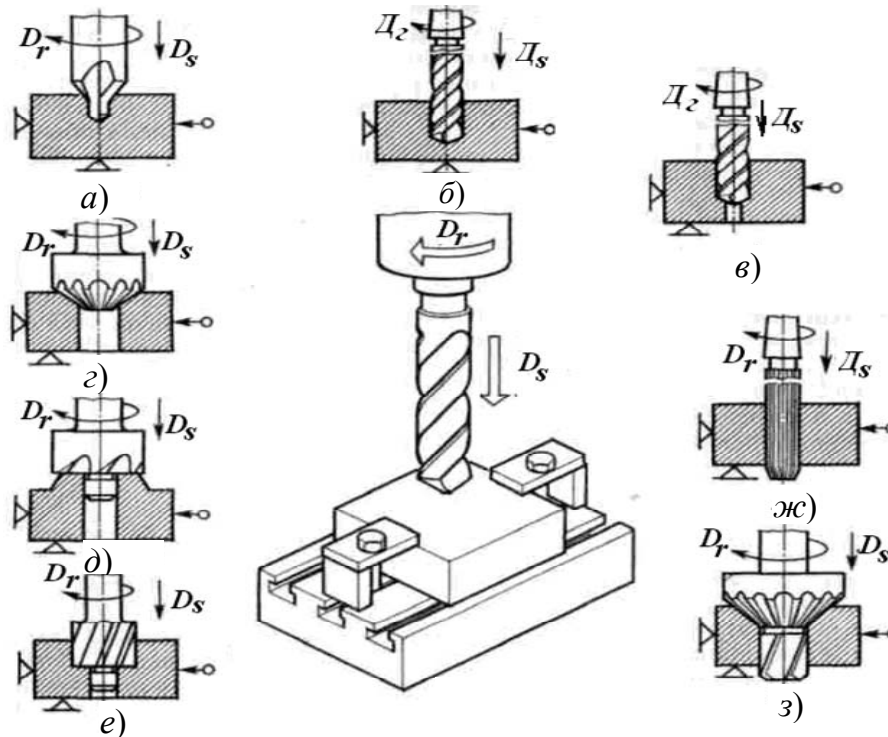


Рис. 10. Эскизы схем обработки: комбинированным центровочным сверлом (а); винтовым сверлом (б); зенкером (в); зенковкой (г); цековкой (д), (е); разверткой (ж); комбинированным инструментом (з)

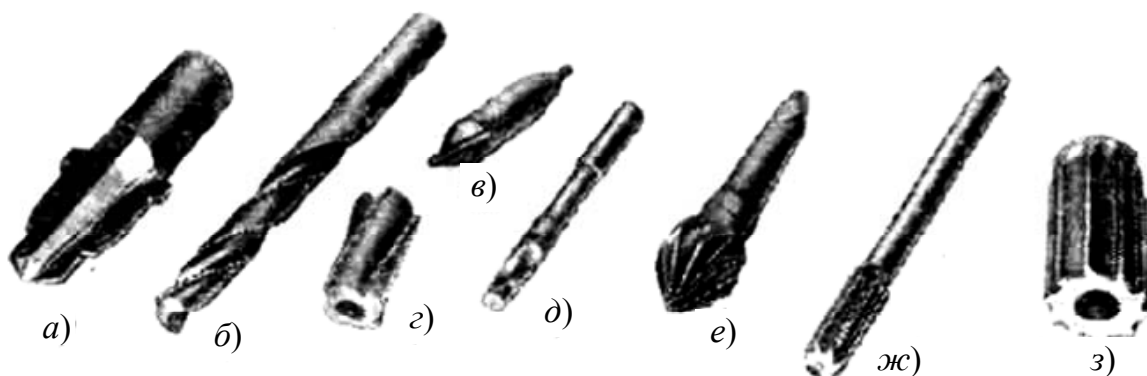


Рис. 11. Фотографии осевых инструментов: комбинированного (а); винтового сверла (б); комбинированного центровочного сверла (в); насадной головки зенкера (г); зенкера (д); зенковки (е); развертки (ж); насадной головки развертки (з)



*Цель лабораторной работы:* определить параметры осевых инструментов и выявить их взаимовлияние.

## Порядок выполнения работы

Геометрия режущей части сверла наиболее сложная и ее необходимо рассматривать в инструментальной, статической и кинематической системах координат (рис. 12, 13), а зенкера и развертки – в статической и инструментальной (рис. 17, 18).

1. Значения передних углов  $\gamma_{ci}$  в статической системе координат зависят от многих параметров, поэтому их у сверл необходимо определить:

– аналитически для трех точек режущей кромки по следующей формуле (рис. 14):

$$\operatorname{tg} \gamma_{Ni} = \operatorname{tg} \lambda'_i \frac{(1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \mu)}{\sin \varphi \cos \mu_i} - \operatorname{tg} \mu_i \cos \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \lambda'_i = \frac{R_i}{R} \operatorname{tg} \lambda'$ ;  $\sin \mu_i = r / R_i$ ;  $\lambda'$  – угол наклона вспомогательной кромки (ленточки);  $R$  – радиус сверла;  $r$  – радиус окружности сердцевины;

– экспериментально – по схеме на рис. 15, б.

Измерительными точками необходимо выбрать  $R_i = R; R/2; r$ .

При измерении углов в главной секущей плоскости необходимо:

а) установить инструмент в стойку, штатив или делительную головку;

б) штангенрейсмусом или угломером на стойке проверить, чтобы основная плоскость проходила через рассматриваемую точку, для этого необходимо выверить горизонтальность оси инструмента по линии центров хвостовика и режущей части, а затем установить на одинаковом расстоянии от опорной плиты центральную ось и рассматриваемую точку режущей кромки;

в) установить угломер в главной секущей плоскости и произвести измерения (рис. 15, б).

По результатам измерений и расчетов построить графики изменений угла  $\gamma = f(R_i)$ .

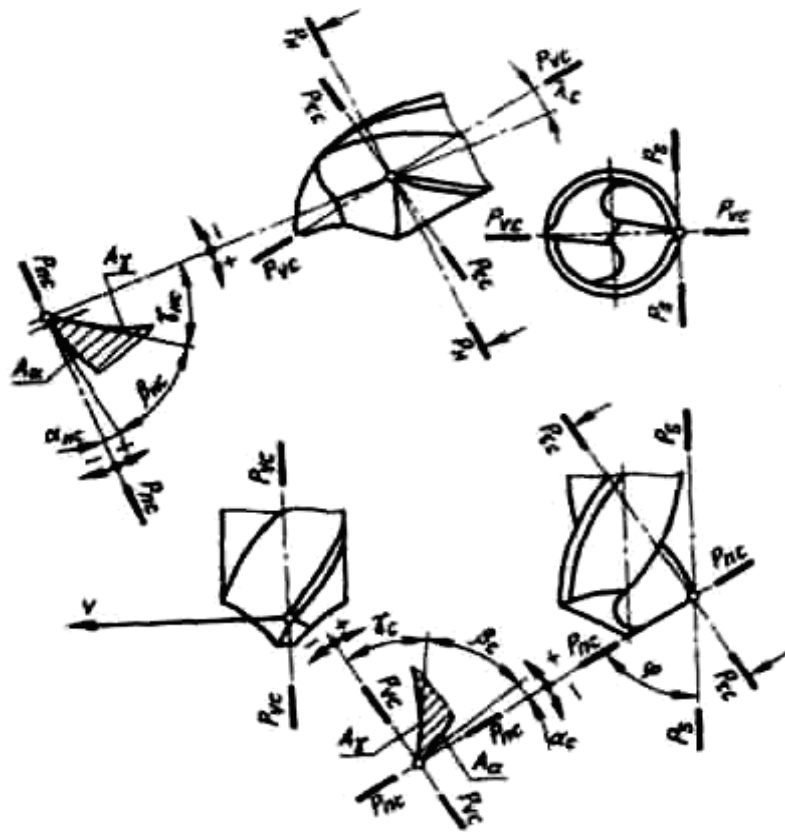


Рис. 12. Геометрия сверла в статической системе координат

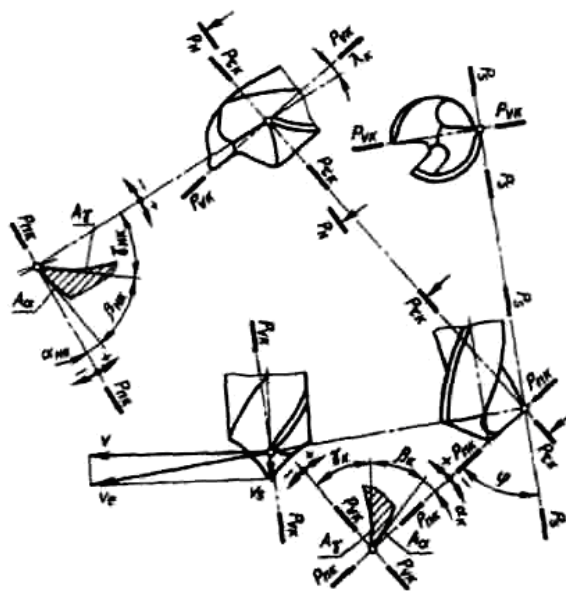


Рис. 13. Геометрия сверла в кинематической системе координат

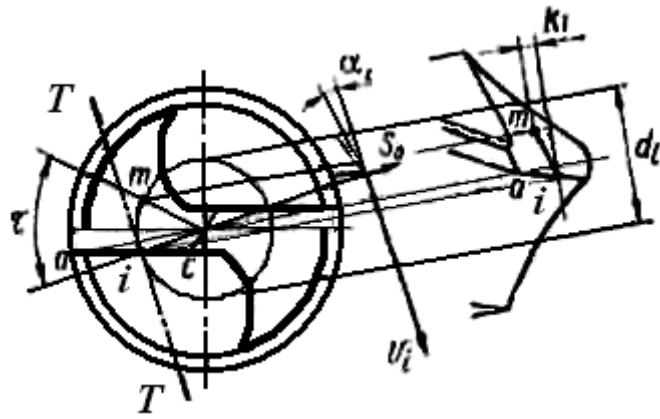


Рис. 14. Расчетная схема

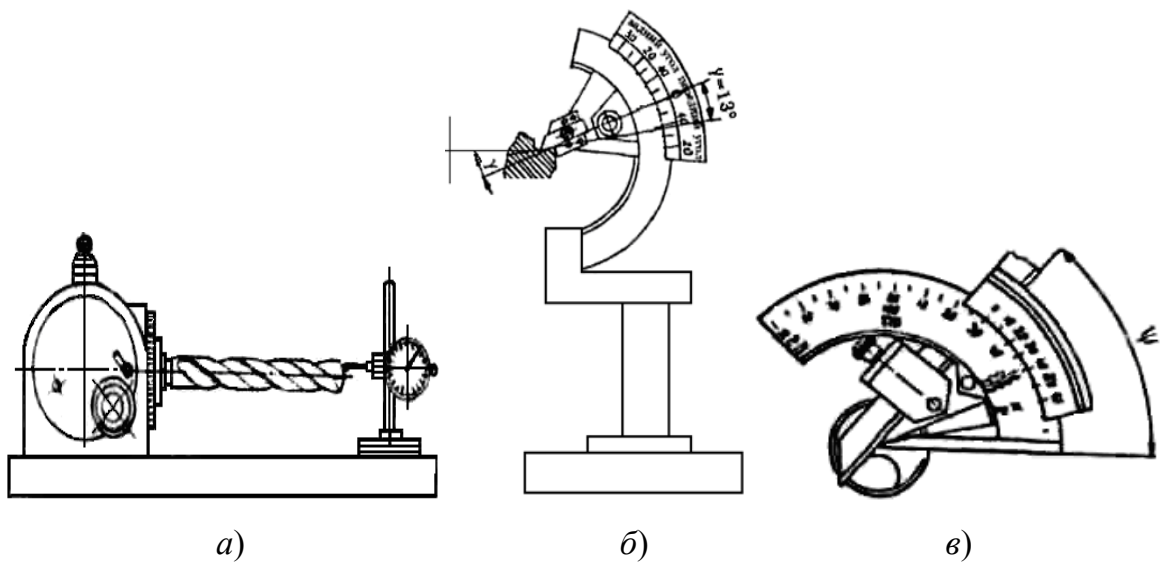


Рис. 15. Схемы измерения заднего (а), переднего (б) и угла наклона перемычки сверла (в)

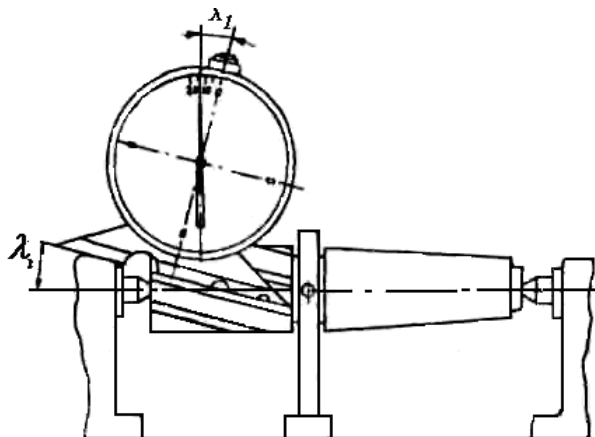


Рис. 16. Схема измерения угла наклона вспомогательной режущей кромки

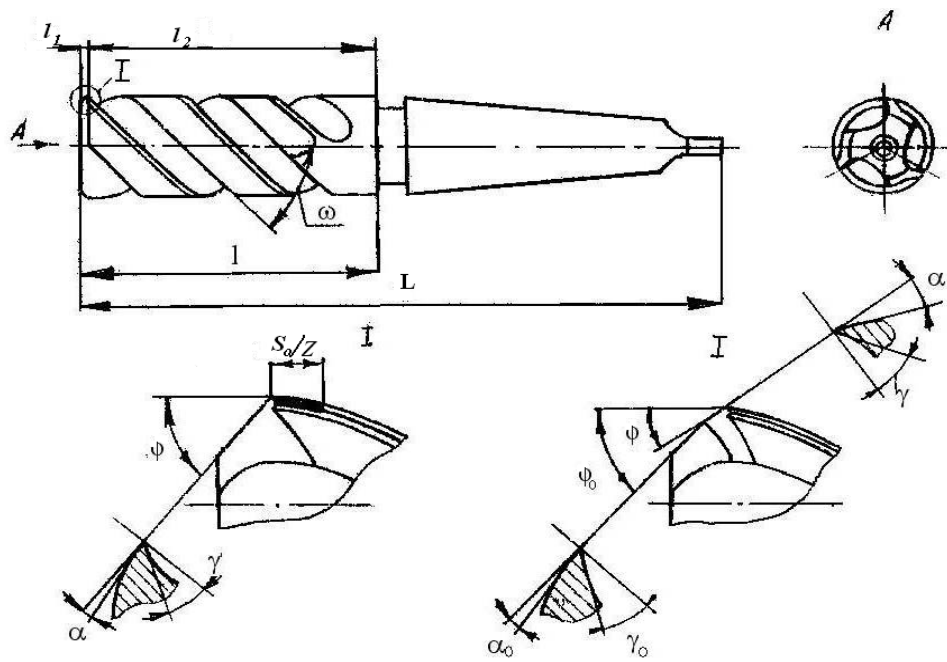


Рис. 17. Элементы конструкции и геометрия зуба зенкера

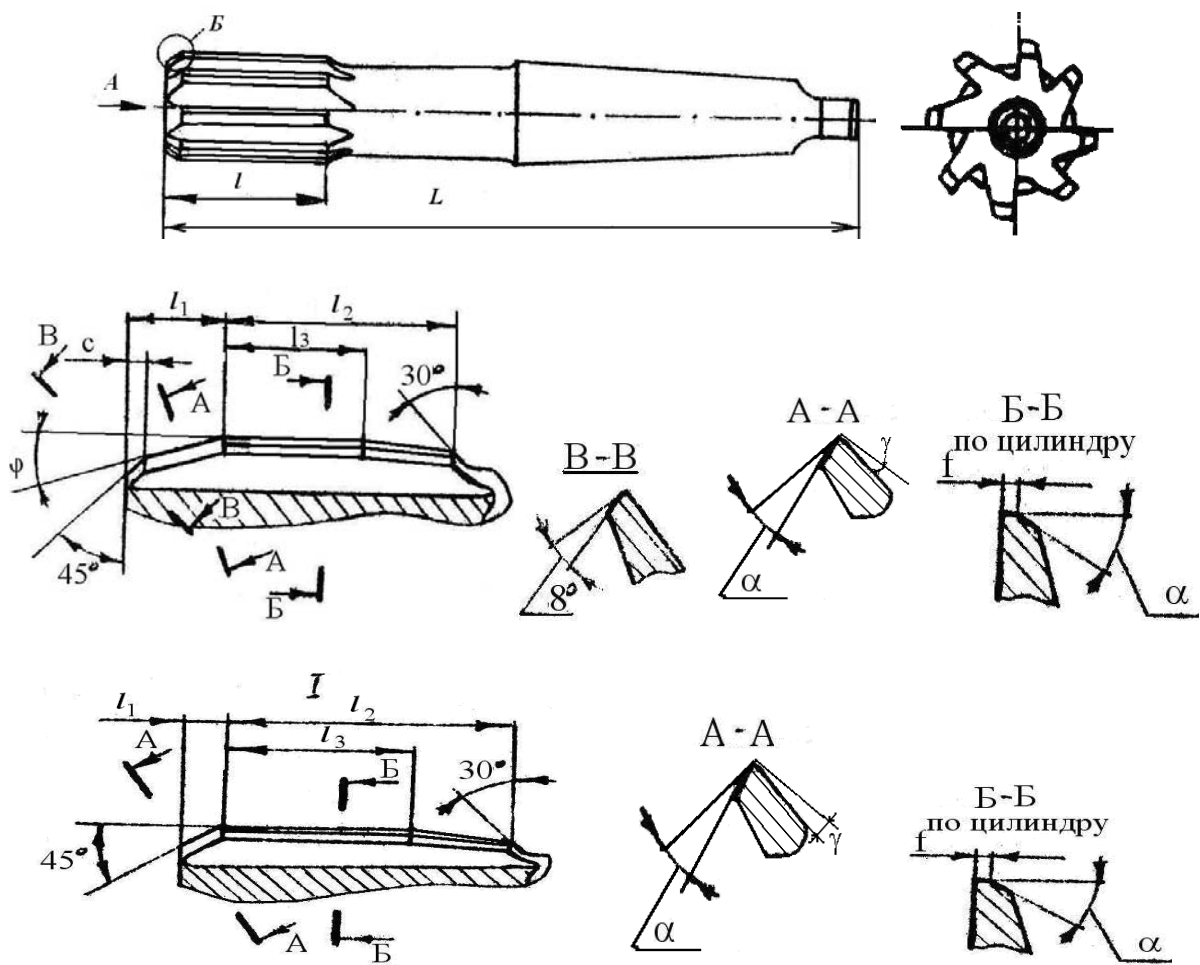


Рис. 18. Элементы конструкции и геометрия зуба развертки

2. Значения заднего угла  $\alpha_c$  в статической системе координат необходимо определить экспериментально (рис. 15, а). Измерение производится с помощью делительной и измерительной головок. Сверло, закрепленное в шпинделе, поворачивается на определенный угол, а индикатор при этом покажет величину падения затылка. Если  $k_i$  – разность показаний индикатора, соответствующая длине дуги  $l_i$ , то

$$\operatorname{tg}\alpha'_i = \frac{k_i}{l_i}, \quad l_i = \frac{\pi D_i \tau}{360},$$

где  $D_i$  – диаметр, на котором производится измерение падения кривой задней поверхности;  $\tau$  – угол поворота сверла в градусах.

По результатам измерений в трех точках на режущей кромке построить график изменения углов  $\alpha_c = f(R_i)$ ;  $\operatorname{tg}\alpha_{c_i} = \frac{\operatorname{tg}\alpha'_i}{\cos\varphi}$ .

3. Произвести измерения углов  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  в основной плоскости. Для этого угломер необходимо расположить так, чтобы его измерительные поверхности проходили через рассматриваемую точку и ось инструмента. Измерять можно углы  $2\varphi$  и  $2\varphi_1$ , что уменьшит погрешность измерения.

4. Рассчитать значения угла  $\beta_i = 90 - (\alpha_i + \gamma_i)$  и для сверла построить график его изменения вдоль режущей кромки.

5. Произвести построение профиля стружечной канавки сверла, для чего необходимо:

- а) измерить диаметр сверла  $D$  и диаметр сердцевины  $d$ ;
- б) задать несколько точек (их число зависит от размера сверла и требуемой точности построения профиля), положение которых определяется радиусом  $R_i$  и углом  $\mu_i$ ;
- в) рассчитать ординату и абсциссу выбранной точки (рис. 19):

$$y_i = r / \operatorname{tg}\mu_i; \quad z_i = y_i \operatorname{ctg}\varphi; \quad \sin \mu_i = r / R_i; \quad r = d / 2;$$

г) рассчитать угол поворота при винтовом проецировании, определяющий положение точки для торцового сечения на заданном радиусе:

$$v_i = \frac{z_i}{p} + \mu_i,$$

где  $p = \frac{P}{2\pi}$  – параметр винтовой поверхности ( $P$  – шаг винтовой канавки);

д) по данным расчета вычертить расчетный теоретический профиль канавки, обеспечивающий прямолинейные режущие кромки сверла;

е) построить нерабочий участок стружечной канавки. Для этого через точки 0 и 5 (рис. 19) проводят прямую, от которой откладывают угол  $\nu = 90 - 92^\circ$ . Отрезок 1–6 делят пополам и из его середины восстанавливают перпендикуляр до пересечения с осью  $OX$ . Требуемый профиль получается окружностью с центром в точке  $O_1$  проходящей через точки 1 и 6;

ж) измерить угол наклона вспомогательной режущей кромки (рис. 16).

6. Определить наиболее оптимальный материал, обрабатываемый сверлом, по табл. 2 (рис. 20, 21).

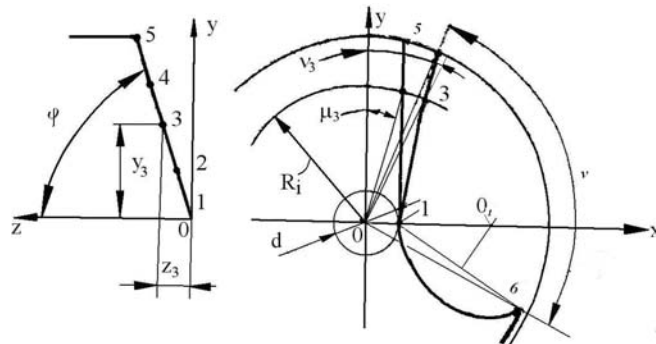


Рис. 19. Расчетная схема

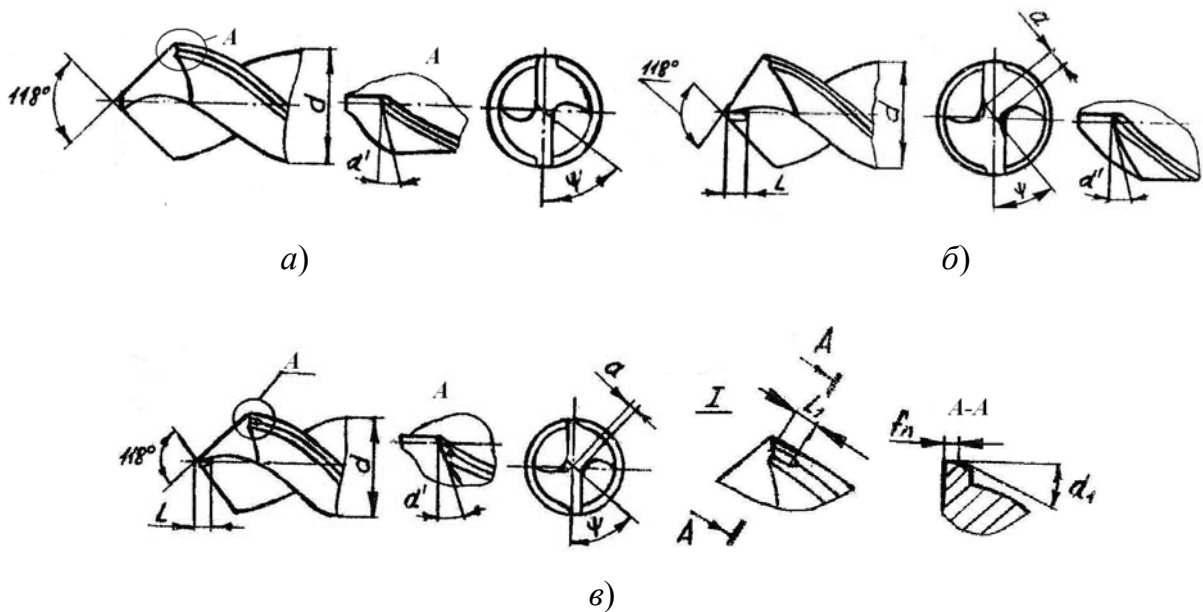


Рис. 20. Эскизы заточек сверл: а – Н; б – НП; в – НПЛ

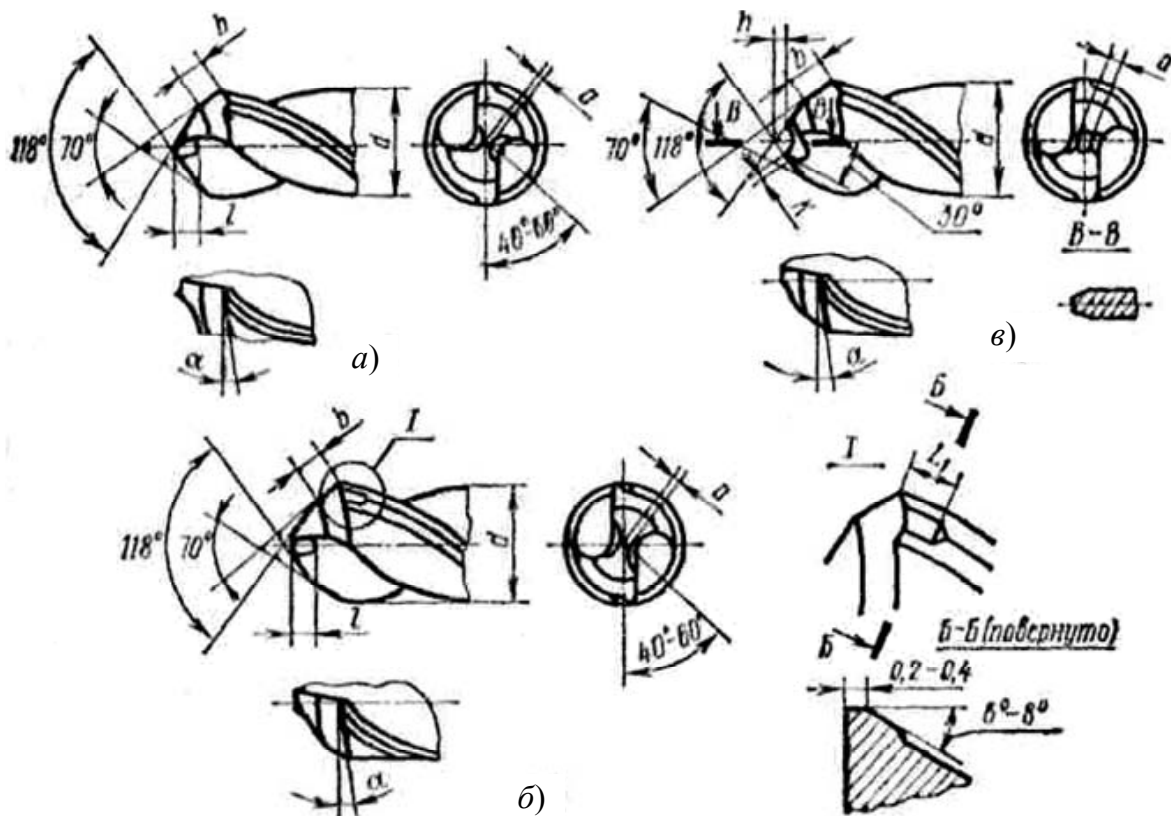


Рис. 21. Эскизы заточек сверл: а – ДП; б – ДПЛ; в – ДП-2

7. Назначить режимы резания по нормативам [2].

8. Рассчитать значение скорости подачи сверла, мм/мин. Определить угол скорости резания  $\eta_i$  в точках режущей кромки:

$$\eta_i = \arctg \frac{S_0}{\pi D_i},$$

где  $S_0$  – подача, мм/об;  $D_i$  – диаметр в  $i$ -й точке режущей кромки сверла, мм.

9. Вычислить для сверла значения кинематических углов:

$$\operatorname{tg} \gamma_{ki} = \operatorname{tg} (\gamma_{ci}^s + \eta_i) \sin \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{ki} = \operatorname{tg} (\alpha_{ci}^s - \eta_i) / \sin \varphi,$$

где  $\gamma_{ki}, \alpha_{ki}, \gamma_{ci}^s, \alpha_{ci}^s$  – соответственно, передний и задний углы в кинематической и статической системах координат в главной секущей и рабочей плоскостях.

10. Построить график изменения углов  $\gamma_{ki}$  и  $\alpha_{ki}$  вдоль режущей кромки и вдоль перемычки  $(\gamma_{кп}, \alpha_{кр}) / \gamma_{кп_i} = \gamma_{сп_i} + \eta_i; \alpha_{кп_i} = \alpha_{сп_i} - \eta_i$ .

Углы  $\gamma_{\text{сп}}$  и  $\alpha_{\text{сп}}$  измерить в точках  $r$ ;  $r/2$ ;  $r/3$ .

**11.** По величине среднего радиуса конуса определить допустимый крутящий момент:

$$r_{\text{cp}} = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры рабочей части конуса.

Тогда

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_0 f r_{\text{cp}}}{\beta \sin \theta},$$

где  $P_0$  – осевая сила, определенная по нормативам [2], [3];  $f$  – коэффициент трения  $f = 0,1 \dots 0,15$ ;  $\beta$  – коэффициент запаса  $\beta = 1,25 \dots 1,5$ ;  $\theta$  – угол конуса.

Проверить условие  $M_{\text{кр}} \geq M_{\text{р}}$ , где  $M_{\text{р}}$  – момент сил резания по [2], [3].

**12.** Определить к какому классу допусков относится сверло, для этого необходимо:

а) измерить диаметр сверла в начале режущей части. Измерение необходимо производить микрометром по ленточкам сверла;

б) определить шероховатость поверхности сверла с помощью образцов;

в) определить величину обратной конусности с помощью микрометра. Для этого необходимо измерить диаметр сверла в начале и в конце калибрующей части, определить разность:

$$\Delta = D_1 - D_2,$$

которую необходимо привести к нормированной длине  $\Delta_{\text{н}} = (\Delta/l)l_{\text{н}}$ , где  $l$  – расстояние между точками измерения на сверле;  $l_{\text{н}}$  – нормированная длина (чаще всего  $l_{\text{н}} = 100$  мм);

г) определить отклонение от прямолинейности режущих кромок сверла с помощью лекальной линейки и щупа;

д) измерить величину радиального биения по ленточкам на всей длине рабочей части. Эти измерения необходимо производить с помощью делительной головки и установленной в стойке измерительной головки. При выполнении этих измерений необходимо, чтобы на-



конечник индикатора касался на одинаковом расстоянии от кромки лезвия инструмента;

е) измерить величину осевого биения режущих кромок. Эти измерения необходимо производить с помощью делительной головки, устанавливая измерительный наконечник индикатора на середину режущих кромок.

Полученные значения необходимо сравнить по классам допусков сверл ГОСТ 2034–80 (приложение 1).

**13.** По измеренным параметрам зенкеров определить его номер по ГОСТ 12509–75, ГОСТ 1677–75, ГОСТ 26258–87 (приложение 2).

При измерении радиального и осевого биений зенкера и развертки их необходимо устанавливать в центрах прибора биения.

**14.** Определить предельные отклонения диаметра развертки (приложение 3) по табл. П.3.3 и построить поля допусков развертки и обрабатываемого разверткой отверстия (рис. 21).

Если развертка черновая, то для построения поля допуска отверстия можно использовать условия, что величина допуска отверстия:

$$T_A = 3T_{и},$$

где  $T_{и}$  – допуск на изготовление развертки.

Допуск на износ

$$T_{из} = 0,45T_A.$$

Допуск на разбивку

$$T_p = 1/3T_A, T_{и} = \Delta_{в.о} - \Delta_{н.о},$$

где  $\Delta_{в.о}, \Delta_{н.о}$  – значения верхнего и нижнего отклонения развертки по табл. П.3.3.

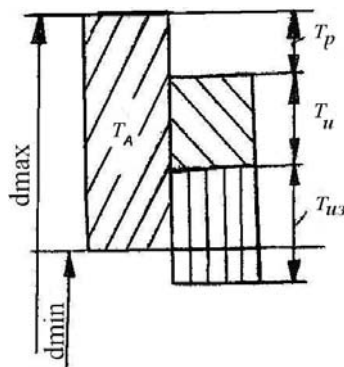


Рис. 22. Схема расположения допусков на диаметр развертки

15. Изобразить схемы обработки осевыми инструментами и схемы их заточки (рис. 10, 23–26).

16. Настроить станок на заточку зенкера и развертки и выбрать абразивный инструмент для заточки по [4].

17. Выполнить рабочий чертеж (эскиз) инструмента.

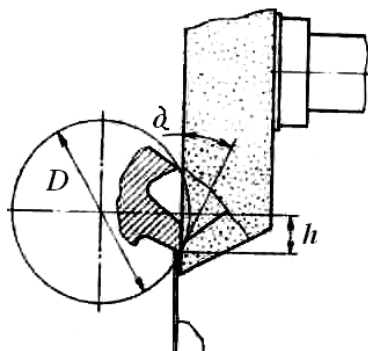


Рис. 23. Схема установки развертки при заточке

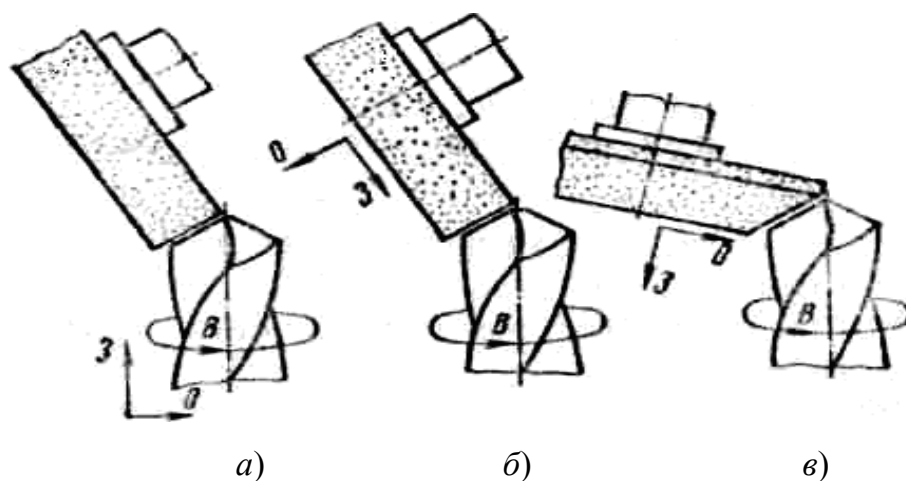


Рис. 24. Способы винтовой заточки : а – сверло совершает движения вращения В (относительно собственной оси), осциллирования О и затылования З; б, в – сверло совершает движение вращения В, абразивный инструмент – движения осциллирования О и затылования З

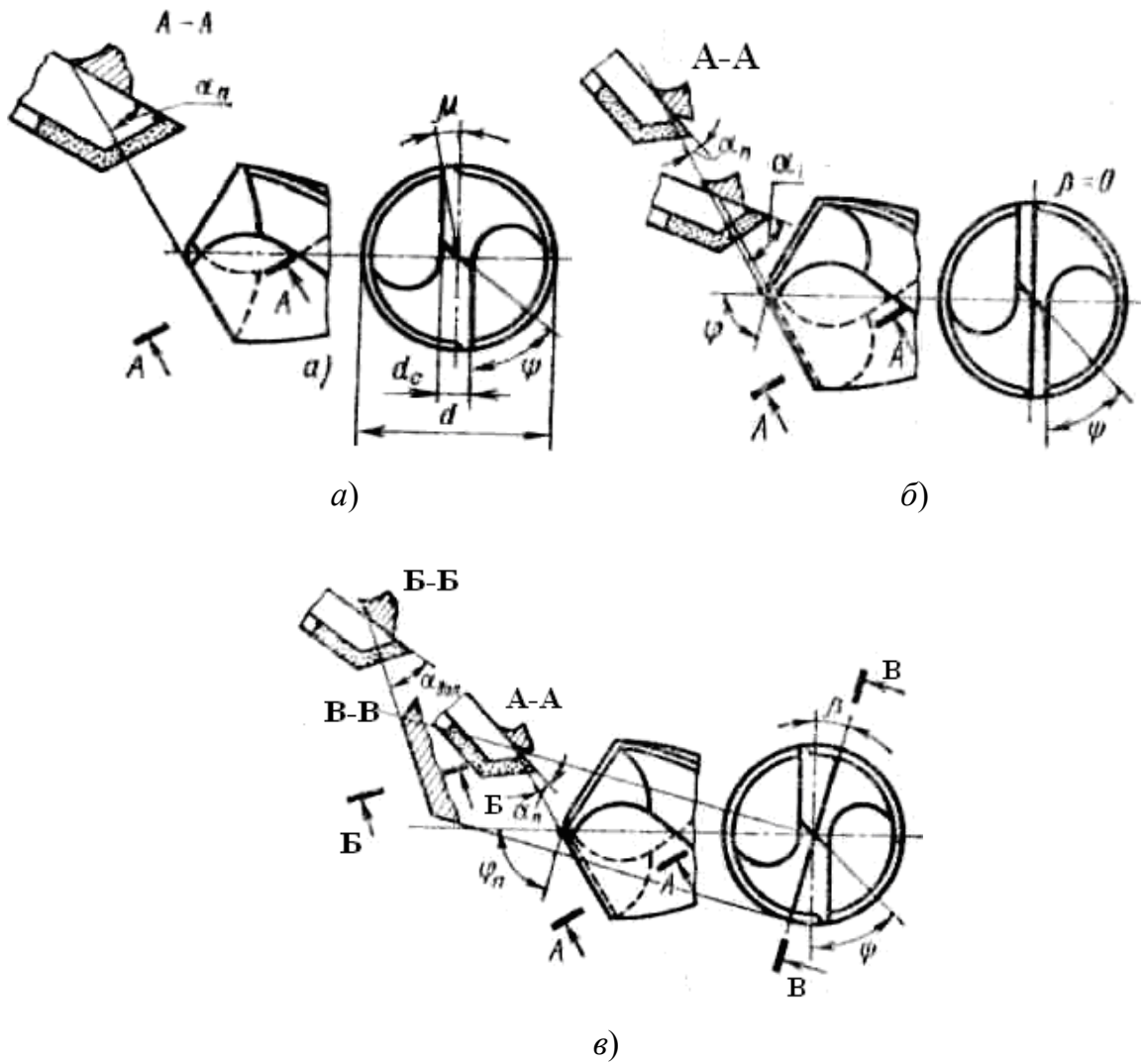


Рис. 25. Схемы заточки сверла: одноплоскостная (а); двухплоскостная (б), (в)

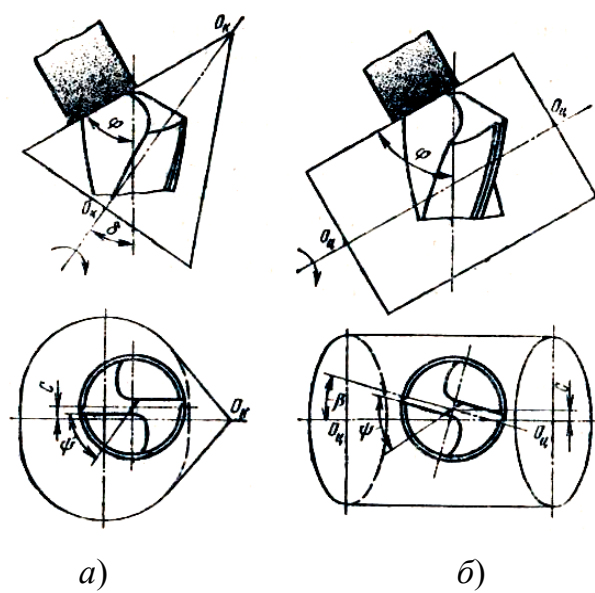


Рис. 26. Схемы заточки сверла: коническая (а); цилиндрическая (б)

### Назначение форм передних поверхностей сверл

Обрабатываемый материал	Форма заточки	Обозначение формы заточки (рис. 14)
1. Сталь, стальное литье, чугун	Нормальная	Н
2. Стальное литье с $\sigma_b \leq 500$ МПа с неснятой коркой	Нормальная, с подточкой поперечного лезвия	НП
3. Сталь и стальное литье с $\sigma_b \leq 500$ МПа со снятой коркой	Нормальная, с подточкой поперечного лезвия и ленточки	НПЛ
4. Стальное литье с $\sigma_b > 500$ МПа с неснятой коркой; чугун с неснятой коркой	Двойная, с подточкой поперечного лезвия	ДП
5. Сталь и стальное литье с $\sigma_b > 500$ МПа со снятой коркой	Двойная, с подточкой поперечного лезвия и ленточки	ДПЛ
6. Чугун со снятой коркой	Двойная, с подточкой и срезанным поперечным лезвием	ДП-2

### Структура отчета

1. Схемы обработки и обоснование конструктивных элементов инструмента.
2. Схемы измерения углов инструмента.
3. Графики изменений углов зуба инструментов в статической и кинематической системах координат.
4. Схемы переточки инструментов и марки выбранного абразивного инструмента.
5. Профиль стружечной канавки сверла с размерами.
6. Марки наиболее оптимальных материалов, обрабатываемых инструментами.
7. Заключение по классу допусков инструментов.
8. Рабочие чертежи (эскизы) инструментов.

### Контрольные вопросы

1. Назвать виды и типы осевого инструмента.

2. Назвать основные элементы осевых инструментов.
3. Показать геометрические параметры зуба на осевых инструментах.
4. Указать особенности конструкций сверл для глубокого и неглубокого сверления.
5. Назвать особенности конструкций центровочных сверл.
6. Назвать особенности осевого инструмента для обработки отверстий в листовом материале и конических отверстий.
7. Назвать формы заточки осевого инструмента и обосновать их применение.
8. Обосновать выбор инструментального материала для осевого инструмента.
9. Обосновать выбор основных параметров абразивного инструмента для заточки режущих инструментов.
10. Обосновать выбор полей допусков осевого инструмента.

## **Литература**

1. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.
2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – М. : Машиностроение, 1978.
3. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, В. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
4. Попов, С. А. Заточка и доводка режущего инструмента / С. А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.

## Приложения к лабораторной работе № 2

### Приложение 1

#### Технические требования к сверлам по ГОСТ 2034–80

1. Спиральные сверла изготавливаются четырех классов точности: *A1*, *A*, *B1* и *B*.

2. Хвостовики сварных сверл должны быть изготовлены из стали марки 45 по ГОСТ 1050–74 или марки 40Х по ГОСТ 4543–71.

3. Твердость рабочей части сверл должна быть:

– у сверл из быстрорежущей стали: HRC<sub>3</sub> 63...65 – диаметром до 5 мм; HRC<sub>3</sub> 63...66 – диаметром свыше 5 мм;

– у сверл из стали марки 9ХС: HRC<sub>3</sub> 62...64 – диаметром до 5 мм; HRC<sub>3</sub> 62...65 – диаметром свыше 5 мм.

Твердость рабочей части сверл из быстрорежущей стали с содержанием ванадия не менее 3 % и кобальта не менее 5 % должна быть выше на 2–4 единицы HRC<sub>3</sub>.

Сверла диаметром до 39 мм допускается подвергать термообработке на всей длине сверла.

4. Твердость лапок сверл с коническим хвостовиком должна быть HRC<sub>3</sub> 31...46.

5. Твердость поводков сверл с цилиндрическим хвостовиком должна быть не менее HRC<sub>3</sub> 26.

6. Поверхность сверл не должна иметь трещин и следов коррозии. Шлифованные поверхности не должны иметь вмятин и черновин. На передних и задних поверхностях, на поверхностях ленточек и хвостовика не должно быть обезуглероженного слоя и цветов побежалости.

7. Сверла из быстрорежущей стали допускается обрабатывать комплексной химико-термической обработкой (цианированием, цианированием с последующим оксидированием, обработкой в атмосфере перегретого водяного пара), фосфатированием, обработкой низкотемпературным отпуском. Применение процесса цианирования допускается на сверлах диаметром 5 мм и выше.

8. Параметры шероховатости поверхностей сверл не должны быть выше, чем в табл. П.1.1.

9. Поля допусков диаметров режущей части сверл, измеренные в начале рабочей части, должны быть:

– *h8* – для сверл *A1*, *A* и *B1*;

– *h9* – для сверл класса точности *B*.

10. Предельные отклонения длин сверл не должны быть более  $2j_s16$  – для общей длины и  $3j_s16$  – для длины рабочей части.

11. Сверла должны иметь на рабочей части уменьшение диаметра по направлению к хвостовику (обратную конусность), которая не должна превышать на 100 мм длины сверла значений: 0,03...0,08 – для диаметров до 10 мм; 0,04...0,1 – для диаметров свыше 10 до 18; 0,05...0,12 – для диаметров свыше 18 мм. Сверла диаметров до 1 мм допускается изготавливать без уменьшения диаметра (увеличение диаметра по направлению к хвостовику не допускается). Для сверл диаметром до 3 мм допускается уменьшение диаметра по направлению к хвостовику до 0,1 мм. Для сверл с цилиндрическим хвостовиком диаметром до 12 мм допускается уменьшение диаметра по всей длине сверла.

Таблица П.1.1

### Значения шероховатостей поверхностей

Наименование поверхности сверла	Параметры шероховатости, мкм					
	$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$
	A1 и A		B1		B	
Задние поверхности режущей части	–	3,2	–	6,3	–	6,3
Поверхности направляющих ленточек	–	3,2	–	3,2	–	6,3
Поверхности канавок сверл диаметром:						
– до 1,0 мм;	–	3,2	–	10	–	10
– свыше 1,0 мм	–	6,3	–	10	–	10
Поверхности хвостовика	0,8	–	1,25	–	1,6	–

*Примечание.* У сверл класса точности B с фрезерованными канавками допускается шероховатость канавок  $R_z \leq 20$  мкм.

12. Допуски симметричности сердцевины относительно оси сверл должны соответствовать значениям табл. П.1.2.

Таблица П.1.2

### Допуск симметричности

Диаметр сверла	Класс точности	До 1	Свыше 1 до 3	Свыше 3 до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 20	Свыше 20 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50
Допуск симметричности	A1	0,03	0,04	0,05	0,05	0,08	0,15	0,20	0,30
	A		0,04		0,08				
Допуск прямолинейности	A1, A	–	0,06	0,08	0,10	0,15	–	–	–

13. Допуски прямолинейности режущих кромок для сверл классов точности A и A1 не должны превышать значений табл. П.1.2.

14. Допуск радиального биения по ленточкам на всей длине рабочей части сверла относительно хвостовика не должен быть более значений табл. П.1.3.

Таблица П.1.3

**Значения радиального биения**

Класс точности сверла	Номинальный диаметр	Допуск радиального биения, мм			
		Сверла с цилиндрическим хвостовиком			Сверла с коническим хвостовиком
		Короткая серия	Средняя серия	Длинная серия	
A1	От 3 до 10	0,04	0,04	0,06	0,08
	Свыше 10			0,08	
A	От 3 до 10	0,04	0,06	0,06	0,08
	Свыше 10			0,08	
B1	От 3 до 10	0,06	0,07	0,07	0,10
	Свыше 10			0,09	
B	От 3 до 10	0,06	0,08	0,12	0,12
	Свыше 10			0,16	

15. Режущие кромки должны быть симметрично расположены относительно оси рабочей части сверла. Допуск осевого биения, проверяемый посередине режущих кромок, не должен превышать значений табл. П.1.4.

Таблица П.1.4

**Значения осевого биения**

Диаметр сверла	Допуск осевого биения, мм				
	Классы точности сверл				
	A1	A	B1		B
			цилиндрический хвостовик	конический хвостовик	
До 6	0,04	0,05	0,10	0,12	0,12
Свыше 6 до 10	0,05	0,10	0,13	0,13	0,18
Свыше 10	0,06	0,20	0,15	0,23	0,30

16. Предельные отклонения угла при вершине и заднего угла не должны быть более  $\pm 3^\circ$ .

17. Допуски конусов Морзе по ГОСТ 2848–75 должны быть:

- AT7 – для сверл классов точности A1 и A;
- AT8 – для сверл B1 и B.



**Технические требования к зенкерам, оснащенным  
твердосплавными пластинами (из ГОСТ 12509–75)**

1. Материал и твердость основных деталей зенкеров должны соответствовать следующему:

– корпусов зенкеров (с коническим хвостовиком и насадные): 40X – (37...47 HRC<sub>3</sub>); 9X – (58...64 HRC<sub>3</sub>); быстрорежущая сталь;

– корпусов зенкеров со вставными ножами (с коническими хвостовиками и насадные): 40X; 45;

– корпусов ножей: 40X; У7 и У8; 35ХГСА;

– клиньев: 45, 40X, У7 и У8 (для всех – 37...47 HRC<sub>3</sub>).

Быстрорежущие стали и сталь 9ХС должны применяться для корпусов зенкеров, диаметр которых равен диаметру режущей части, а стали 40X и 45X – для корпусов зенкеров, диаметр которых занижен по отношению к диаметру режущей части.

2. Зенкеры с коническим хвостовиком с напаянными пластинами, корпуса которых изготовлены из быстрорежущей стали, должны быть сварными. Хвостовики сварных зенкеров должны быть изготовлены из стали марки 45 или 40X. Твердость лапок хвостовиков зенкеров должна быть 32...47 HRC<sub>3</sub>.

3. Допускается понижение твердости корпусов зенкеров за твердосплавной пластиной на участке, равном длине пластины: для корпусов из быстрорежущей стали – на 10 HRC<sub>3</sub>; для корпусов из стали марок 9ХС, 45X, 40X, 35ХГСА – на 10...15 HRC<sub>3</sub>.

4. В качестве припоя должна применяться латунь марки Л-63 по ГОСТ 15527–70 или МНМ 68-4-2. Слой припоя между опорной поверхностью корпуса и пластиной не должен быть более 0,2 мм. Разрыв слоя припоя не должен быть более 10 % его общей длины.

5. Параметры шероховатости поверхностей зенкеров по ГОСТ 2789–73 не должны быть выше, чем указаны в табл. П.2.1.

Таблица П.2.1

## Значения шероховатостей

Наименование поверхности	Шероховатость $R_z$ , мкм
1. Передние и задние поверхности на режущей части	1,6
2. Поверхности направляющих ленточек на пластине и поверхности конических хвостовиков	3,2
3. Задние поверхности пластин за ленточкой, поверхность направляющих ленточек на корпусе и поверхность посадочного отверстия насадных зенкеров	6,3
4. Поверхность стружечных канавок, наружной поверхности корпуса сборных зенкеров	10
5. Остальные поверхности	20

6. Предельные отклонения диаметров зенкеров, измеренные в начале рабочей части, должны соответствовать указанным в табл. П.2.2 и П.2.4.

Таблица П.2.2

## Предельные отклонения диаметров

Номинальные диаметры зенкеров, мм	Зенкер № 1		Зенкер № 2	
	Предельные отклонения			
	Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее
От 14 до 18	-210	-245	+70	+35
Свыше 18 до 30	-245	-290	+85	+40
Свыше 30 до 50	-290	-340	+100	+50
Свыше 50 до 80	-350	-410	+120	+60
Свыше 80 до 100	-420	-490	+140	+70

*Примечание.* Зенкер № 1 рекомендуется под черновые развертки; зенкер № 2 – для окончательной обработки отверстий с допусками  $H11$ .

7. Предельные отклонения посадочного отверстия и шпоночного паза для насадных зенкеров по ГОСТ 9472–83.

8. Обратная конусность на 100 мм длины не должна быть более: для зенкеров диаметром от 14 до 30 мм – 0,05...0,08 мм; свыше 30 до 100 мм – 0,08...0,10 мм.

9. Допуск радиального биения направляющих ленточек на всей длине рабочей части зенкеров и главных режущих кромок относительно оси центровых или посадочных отверстий должен соответствовать указанному в табл. П.2.3.

## Значения радиального биения

Номинальный диаметр	Допуск радиального биения	
	направляющих ленточек	главных режущих кромок
До 18	0,032	0,040
Свыше 18 до 30	0,040	0,050
Свыше 30	0,050	0,063

Допуск радиального биения хвостовика относительно оси центровых отверстий – 0,020 мм.

10. На шейке или хвостовике хвостовых и торцах насадных зенкеров должна быть нанесена маркировка:

- товарный знак предприятия-изготовителя;
- номинальный диаметр зенкера;
- поле допуска номинального диаметра;
- марка материала режущей части;
- цифровое обозначение зенкеров.

## Дополнения для цельных зенкеров по ГОСТ 1677–75

1. Хвостовая часть изготавливается из сталей 40Х, 45.
2. Твердость лапок хвостовиков зенкеров с коническим хвостовиком должна быть HRC<sub>3</sub> 32...47.
3. Параметры шероховатости поверхностей зенкеров по ГОСТ 2789–73 не должны быть более указанных: передняя поверхность ( $R_a = 1,6$ ,  $R_z = 6,3$ ); задняя поверхность ( $R_a = 1,6$ ,  $R_z = 6,3$ ); поверхность направляющих ленточек ( $R_a = 0,8$ ,  $R_z = 3,2$ ); поверхность стружечных канавок ( $R_a = 1,6$  – для шлифованных канавок;  $R_z = 3,2$  – для фрезерованных канавок); поверхность хвостовика ( $R_a = 0,8$ ,  $R_z = 3,2$ ); поверхность посадочного отверстия ( $R_a = 1,6$ ,  $R_z = 6,3$ ); остальные поверхности ( $R_z = 25$  мкм).
4. Предельные отклонения диаметров зенкеров, измеренные в начале рабочей части, должны соответствовать указанным в табл. П.2.4. В этой таблице зенкер № 1 рекомендуется под черновые развертки, зенкер № 2 – для окончательной обработки отверстий.
5. Предельные отклонения общей длины и длины рабочей части зенкеров должны быть:  $\pm 1,5$  мм – до 120 мм ;  $\pm 2$  мм – свыше 120 до 315;  $\pm 3$  мм – свыше 315.

## Значения предельных отклонений

Номинальный диаметр зенкеров, мм	Зенкер № 1		Зенкер № 2	
	Предельное отклонение, мкм			
	Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее
От 10 до 18	-210	-237	+70	+43
Свыше 18 до 30	-245	-278	+85	+52
30...50	-290	-329	+100	+61
50...80	-350	-396	+120	+74
80...100	-420	-474	+140	+86

Остальные требования аналогичны ГОСТ 12509–75 (пп. 7, 9 и 10).

7. Обратная конусность на 100 мм длины должна соответствовать для зенкеров диаметрами: до 18 – 0,04...0,06 мм; свыше 18 – 0,05...0,10 мм.

8. Допуски конусов Морзе – по АТ8 по ГОСТ 2848–75.

## Технические требования к цековкам по ГОСТ 26258–87

1. Материал и твердость цековок с рабочей частью из быстрорежущей стали должны соответствовать указанным в табл. П.2.5.

Таблица П.2.5

## Значения твердостей

Название части цековки	Марка материала	Твердость
Рабочая часть на длине винтовых канавок для цековок диаметром: – до 6 мм;	Быстрорежущая сталь по ГОСТ 19265–73	62...65 HRC <sub>3</sub>
– свыше 6 мм		63...66 HRC <sub>3</sub>
Хвостовик цилиндрический	Сталь 45 по ГОСТ 1050–74 или сталь 40X по ГОСТ 4543–71	37...56 HRC <sub>3</sub>
Хвостовик под штифтовой замок		32...46 HRC <sub>3</sub>
Лапка конического хвостовика		32...46 HRC <sub>3</sub>

2. Твердость рабочей части цековок из быстрорежущей стали с содержанием ванадия – 3 % и более, кобальта – 5 % и более – выше на 1, 2 единицы HRC<sub>3</sub>.

3. Форма и размеры твердосплавных пластин по ГОСТ 25400–82.

4. В качестве припоя следует применять латунь марки Л63 или Л68 по ГОСТ 15527–70 или сплав МНМ<sub>ц</sub> 68–4–2. Слой припоя должен быть не более 0,2 мм.

5. Параметры шероховатости поверхностей цековок не должны превышать, мкм:

– передней и задней поверхности направляющих ленточек цековок с рабочей частью:

а) из быстрорежущей стали –  $R_z = 6,3$ ;

б) из стали, оснащенной твердосплавными пластинами –  $R_z = 3,2$  мкм;  
– поверхности посадочного отверстия под направляющую цапфу –  $R_a = 1,6$ ;

– поверхности канавок –  $R_z = 10$ ;

– поверхности хвостовика, опорных торцов насадных цековок и цековок с хвостовиком под штифтовой замок, цилиндрической поверхности цапф цековок с цилиндрическим хвостовиком –  $R_a = 0,8$  мкм;

– остальных поверхностей –  $R_z = 20$ .

6. Значение обратной конусности для цековок с рабочей частью из быстрорежущей стали 0,08...0,16 мм – на 100 мм длины; для цековок, оснащенных твердосплавными пластинами, 0,05...0,10 мм – по длине твердосплавной пластины.

7. Допуски радиального биения относительно оси хвостовика для хвостовых цековок и оси посадочного отверстия для насадных цековок не должны превышать:

– ленточек на всей длине рабочей части для цековок диаметром 2,2...6,0 мм – 0,03 мм; 6,5...18,0 – 0,040 мм; 20,0...48,0 мм – 0,05 мм; 52,0...61,0 мм – 0,060;

– поверхности посадочного отверстия под сменную цапфу – 0,032 мм;

– направляющей поверхности постоянной цапфы – 0,02 мм.

8. Допуски торцового биения режущих кромок относительно оси хвостовика для хвостовых цековок или оси посадочного отверстия для насадных цековок не должны превышать:

– для цековок диаметром 2,2...6,0 мм – 0,016 мм; 6,5...24,0 мм – 0,025 мм; 26,0...60,0 – 0,040 мм; 61,0 мм – 0,060 мм;

– опорного торца насадных цековок и цековок под штифтовой замок диаметрами 13,5...26,0 мм – 0,016; 26,0...60,0 – 0,025; 61,0 мм – 0,040 мм.

**Технические требования к цилиндрическим разверткам  
по ГОСТ 1523–81 и ГОСТ 5735–81**

**(значения и пункты по ГОСТ 5735–81 обозначены \*)**

1. Развертки должны изготавливаться:

а) ручные – из легированной стали марки 9ХС по ГОСТ 5950–73;

б) машинные цельные и ножи сборных разверток – из быстрорежущей стали по ГОСТ 19265–73.

Допускается изготовление разверток и из других материалов.

2. Развертки диаметром 10 мм и более должны быть сварными:

– хвостовики изготавливают из сталей 45 по ГОСТ 1050–74 и 40Х – по ГОСТ 3–71. Корпуса и клинья сборных разверток изготавливают из аналогичных материалов.

3. Твердость цельных разверток должна быть:

– рабочей части из быстрорежущей стали для диаметра до 6 мм – 62...65 HRC<sub>3</sub>; свыше 6 мм – 64...67 HRC<sub>3</sub>; из стали 9ХС для диаметра до 8 мм – 62...65 HRC<sub>3</sub>; свыше 8 мм – 61...64 HRC<sub>3</sub>;

– хвостовиков: лапок – 32...47 HRC<sub>3</sub>; квадратов хвостовиков цельных разверток – 37...57 HRC<sub>3</sub>; квадратов хвостовиков сборных разверток – 31...47 HRC<sub>3</sub>.

Для ручных разверток диаметром 10,5...40 мм из стали 9ХС допускается снижение твердости рабочей части со стороны шейки до 52 HRC<sub>3</sub> по длине 1,5 диаметра (для разверток диаметром до 13 мм) и на 1/4 длины рабочей части с обратным конусом (для разверток диаметром свыше 3 мм).

Твердость сборных разверток должна быть: ножей – 64...67 HRC<sub>3</sub>; клиньев – 32...42 HRC<sub>3</sub>; корпусов хвостовых разверток на длине не менее длины стружечных канавок и насадных разверток по всей длине – 37...47 HRC<sub>3</sub>.

4. Параметры шероховатости поверхностей разверток по ГОСТ 2789–73 не должны быть более, мкм:

а) передней поверхности режущей части развертки:

– для обработки отверстий квалитетов 6...9 –  $R_z1,6$ ; 6\* –  $R_z0,8$ ; 7\*...10\* –  $R_z1,6$ ; 11\* –  $R_z3,2$ ; 10...11 –  $R_z3,2$ ;

– для разверток с припуском под доводку номеров 1...3 –  $R_z1,6$ ; 4...6 –  $R_z3,2$ ;

б) задней поверхности режущей части чистовой развертки:

- для обработки отверстий квалитетов 6...9 –  $R_z1,6$ ;  $R_z1,6^*$ ; 10...11 –  $R_z3,2$ ;  $R_z3,2^*$ ;
- для разверток с припуском под доводку –  $R_z3,2$ ;  $R_z3,2^*$ ;
- в) ленточки на калибрующей части чистовой развертки:
  - для обработки отверстий квалитетов 6...9 –  $R_z1,6$ ; 6\* –  $R_z0,8$ ; 7\*...10\* –  $R_z1,6$ ; 10...11 –  $R_z3,2$ ; 11\* –  $R_z3,2$ ;
  - развертки с припуском под доводку –  $R_z3,2$ ;  $R_z3,2^*$ ;
- г) задней поверхности на калибрующей части –  $R_z6,3$ ;  $R_z6,3^*$ ;
- д) поверхности хвостовика –  $R_a0,8$ ;  $R_a^*0,8$ ;
- е) поверхности посадочного отверстия –  $R_a0,8$ ;  $R_a0,8^*$ .

Параметр шероховатости передних поверхностей должен выдерживаться на 1/2 глубины стружечной канавки, но не более 3 мм.

5. В централизованном порядке развертки должны изготавливаться:

- чистовые – для обработки отверстий с полями допусков  $K7$ ,  $H7$ ,  $H8$ ,  $H9$  – по ГОСТ 13779–77;
- с припуском под доводку номеров 1, 2, 3, 4, 5, 6 – по ГОСТ 11173–76;
- по требованию потребителя с полями допусков отверстий  $K6$ ;  $J_s6$ ,  $H6$ ,  $G6$ ,  $P7$ ,  $N7$ ,  $M7$ ,  $J_s7$ ,  $G7$ ,  $F8$ ,  $E8$ ,  $F9$ ,  $E9$ ,  $D9$ ,  $H10$ ,  $H11$  – по ГОСТ 13779–77.

6. На калибрующей части ручных и машинных разверток допускается обратная конусность в направлении хвостовика на величину не более допуска по диаметру – на изготовление развертки.

При допуске на диаметр машинной развертки менее 0,01 допускается обратная конусность не более 0,01 мм. При допуске на изготовление ручной развертки менее 0,015 мм на участке, прилегающем к режущей части, допускается цилиндрическая форма, а затем допускается обратная конусность 0,015мм.

Предельные отклонения размеров разверток не должны быть более:

- общая длина, длина рабочей части, длина цилиндрического хвостовика, длина квадрата –  $h16$ ,  $h16^*$ ;
- диаметр цилиндрического хвостовика машинных разверток –  $h9$ ,  $h9^*$ ; ручных разверток –  $f9$ ;
- диаметр направляющей части разжимных разверток –  $d11$ .

7. Предельные отклонения размеров конусов Морзе должны соответствовать ГОСТ 2848–75 степени точности  $AT7$  – разверток чистовых;  $AT8$  – остальных (тоже по ГОСТ 5735–81).

8. Допуск радиального биения (мкм) зубьев, измеренный в начале калибрующей части относительно поверхности центровых отверстий или поверхности посадочного отверстия, должен соответствовать указанному в табл. П.3.1

Таблица П.3.1

Допуски радиального биения зубьев разверток, мкм

Диаметр, мм	Чистовые развертки				Развертки с припуском под доводку	
	Квалитет обрабатываемых отверстий				Номер развертки	
	6	7, 8	9, 10	11	1, 2, 3	4, 5, 6
Машинные развертки (кроме удлиненных) и ручные развертки						
До 3	5	6	8	10	8	10
Свыше 3 до 10	6	8	10	12	10	12
10...30	8; 8*	10; 10*	12; 12*	16; 16*	12; 12*	16; 16*
30...120*	10; 10*	12; 12*	16; 16*	20; 20*	16; 16*	20; 20*
120*	20*	20*	20*	25*	25*	25*
Машинные развертки с удлиненной рабочей частью						
От 3 до 10	8	10	12	16	12	16
Свыше 10 до 30	10	12	16	20	16	20
Свыше 30	12	16	20	25	20	25

9. Допуск биения, мкм по режущей части, измеренный перпендикулярно режущим кромкам, относительно поверхности центровых отверстий или поверхности посадочного отверстия должен соответствовать указанному в табл. П.3.2.

10. Допуск радиального биения хвостовика машинной развертки относительно поверхности центровых отверстий не должен превышать 0,010 мм для разверток диаметром до 30 мм и 0,015 мм – для разверток диаметром свыше 30 мм (то же – для машинных разверток, оснащенных пластинами твердого сплава).

11. Предельные отклонения диаметров разверток должны соответствовать указанным в табл. П.3.3 и П.3.4.



Таблица П.3.2

## Допуски биения по режущей части разверток, мкм

Диаметр, мм	Чистовые развертки				Развертки с припуском под доводку	
	Квалитет обрабатываемых отверстий				Номер развертки	
	6	7, 8	9, 10	11	1, 2, 3	4, 5, 6
Машинные развертки (кроме удлиненных) и ручные развертки						
До 3	8	10	12	16	12	16
Свыше 3 до 10	10	12	16	20	16	20
Свыше 10 до 30	12; 12*	16; 16*	20; 20*	25; 25*	20; 20*	25; 25*
Свыше 30 до 120*	16; 16*	20; 20*	25; 25*	32; 32*	25; 25*	32; 32*
Свыше 120*	25*	32*	32*	32*	32*	32*
Машинные развертки с удлиненной рабочей частью						
От 3 до 10	12	16	20	25	20	25
Свыше 10 до 30	16	20	25	32	25	32
Свыше 30	20	25	32	40	32	40

Таблица П.3.3

## Предельные отклонения диаметров разверток

Номинальный диаметр разверток, мм	Отклонения	Обозначение полей допусков отверстий				Черновые развертки
		K7	H7	H8	H9	
		Предельные отклонения диаметров разверток, мкм				
От 1 до 3	Верхнее	-2	+8	+11	+21	-20
	Нижнее	-6	+4	+6	+12	-25
Свыше 3 до 6	Верхнее	+1	+10	+15	+25	-26
	Нижнее	-4	+5	+8	+14	-32
Свыше 6 до 10	Верхнее	+2	+12	+18	+30	-31
	Нижнее	-4	+6	+10	+17	-39
Свыше 10 до 18	Верхнее	+3	+15	+22	+36	-37
	Нижнее	-4	+8	+12	+20	-46
Свыше 18 до 30	Верхнее	+2	+17	+28	+44	-48
	Нижнее	-6	+9	+16	+25	-60
Свыше 30 до 50	Верхнее	+3	+21	+33	+52	-71
	Нижнее	-6	+12	+19	+30	-85
Свыше 50 до 80	Верхнее	+4	+25	+39	+62	-100
	Нижнее	-7	+14	+22	+36	-117
Свыше 80 до 120	Верхнее	+4	+29	+45	+73	-142
	Нижнее	-9	+16	+26	+42	-16

Таблица П.3.4

Номинальный диаметр разверток, мм	Отклонения	Обозначение полей допусков отверстий															
		K6	J6	G6	H6	P7	N7	M7	J7	G7	F8	E8	F9	E9	D9	H10	H11
		Предельные отклонения диаметра разверток, мкм															
От 1 до 3	Верхнее	-1	+1	+7	+5	-8	-6	-4	+2	+10	+17	+25	+27	+35	+41	+34	+51
	Нижнее	-4	-2	+4	+2	-12	-10	-8	-2	+6	+12	+20	+18	+26	+32	+20	+30
Свыше 3 до 6	Верхнее	0	+3	+10	+6	-10	-6	-2	+4	+14	+25	+35	+35	+45	+55	+40	+63
	Нижнее	-3	0	+7	+3	-15	-11	-7	-1	+9	+18	+28	+24	+34	+44	+23	+36
Свыше 6 до 10	Верхнее	0	+3	+12	+7	-12	-7	-3	+5	+17	+31	+43	+43	+55	+70	+49	+76
	Нижнее	-4	-1	+8	+3	-18	-13	-9	-1	+11	+23	+35	+30	+42	+57	+28	+44
Свыше 10 до 18	Верхнее	0	+4	+15	+9	-14	-8	-3	+7	+21	+38	+54	+52	+68	+86	+59	+93
	Нижнее	-4	0	+11	+5	-21	-15	-10	0	+14	+28	+44	+36	+52	+70	+34	+54
Свыше 18 до 30	Верхнее	0	+6	+18	+11	-18	-11	-4	+8	+24	+48	+68	+64	+84	+109	+7	+110
	Нижнее	-5	+1	+13	+6	-26	-19	-12	0	16	+36	+56	+45	+65	+90	+41	+64
Свыше 30 до 50	Верхнее	0	+7	+22	+13	-21	-12	-4	+10	+30	+58	+83	+77	+102	+132	+85	+136
	Нижнее	-6	+1	+16	+7	-30	-21	-13	+1	+21	+44	+69	+55	+80	+110	+50	+80
Свыше 50 до 80	Верхнее	+1	+10	+26	+16	-26	-14	-5	+13	+35	+69	+99	+92	+122	+162	+102	+161
	Нижнее	-6	+3	+19	+9	-37	-25	-16	+2	+24	+52	+82	+66	+96	+136	+60	+94
Свыше 80 до 120	Верхнее	0	+12	+30	+18	-30	-16	-6	+16	+41	+81	+117	+109	+146	+193	+119	+187
	Нижнее	-8	+4	+22	+10	-43	-29	-19	+3	+28	+62	+98	+78	+115	+162	+70	+110

## **Лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК**

В настоящее время протягивание широко используется в массовом и серийном производстве при обработке сквозных отверстий и наружных поверхностей различной формы. При этом наряду с высокой производительностью сравнительно легко достигаются качество точности 6–8 и шероховатость до  $R_a 0,63$  мкм обработанной поверхности [1].

Протягиванием могут обрабатываться поверхности деталей, расположенные как свободно, так и с необходимой точностью относительно базовых поверхностей. В соответствии с этим различают два основных способа протягивания – свободное и координатное. В первом случае в процессе обработки деталь жестко не фиксируется относительно базовых поверхностей. Центрирование и направление детали выполняются за счет равновесия сил резания. При этом обеспечиваются только точность контура обработанной поверхности и его размеры. Координатное протягивание осуществляется с использованием специальных приспособлений, обеспечивающих точное взаимное расположение протяжки и обрабатываемого изделия, за счет чего достигаются как заданная форма и размеры обработанных поверхностей, так и их точное (до 0,02...0,03 мм) расположение относительно базовых поверхностей.

Протяжки разделяются на два вида: внутренние, которыми обрабатываются отверстия, и наружные, используемые для обработки незамкнутых, или открытых, наружных поверхностей

Для процесса протягивания характерна прерывистость работы режущих лезвий инструмента. Они находятся в контакте с обрабатываемой деталью сравнительно непродолжительное время, а при обратном ходе протяжка как бы «отдыхает»; врезание зубьев происходит с ударом, т. е. инструмент испытывает динамические нагрузки. Кроме того, обработка осуществляется со сравнительно малыми толщинами среза, когда сильное влияние на процесс срезания слоя металла оказывает радиус округления режущего лезвия. Процесс протягивания обычно осуществляется с обильным охлаждением. Принципиальная кинематическая схема протягивания базируется на прямолинейном движении, совершаемом чаще всего протяжкой, режет деталью; это движение определяет скорость резания. Движение подачи, без которого невозможно срезание припуска, заложено в конструкции рабочей части протяжки. Благодаря превышению каждого последую-

щего зуба (или группы зубьев) над предыдущим (предыдущими), происходит снятие слоя толщиной  $a$ , которая соответствует подаче — подъему на зуб протяжки  $S_z$  или на группу (секцию) зубьев  $S$ .

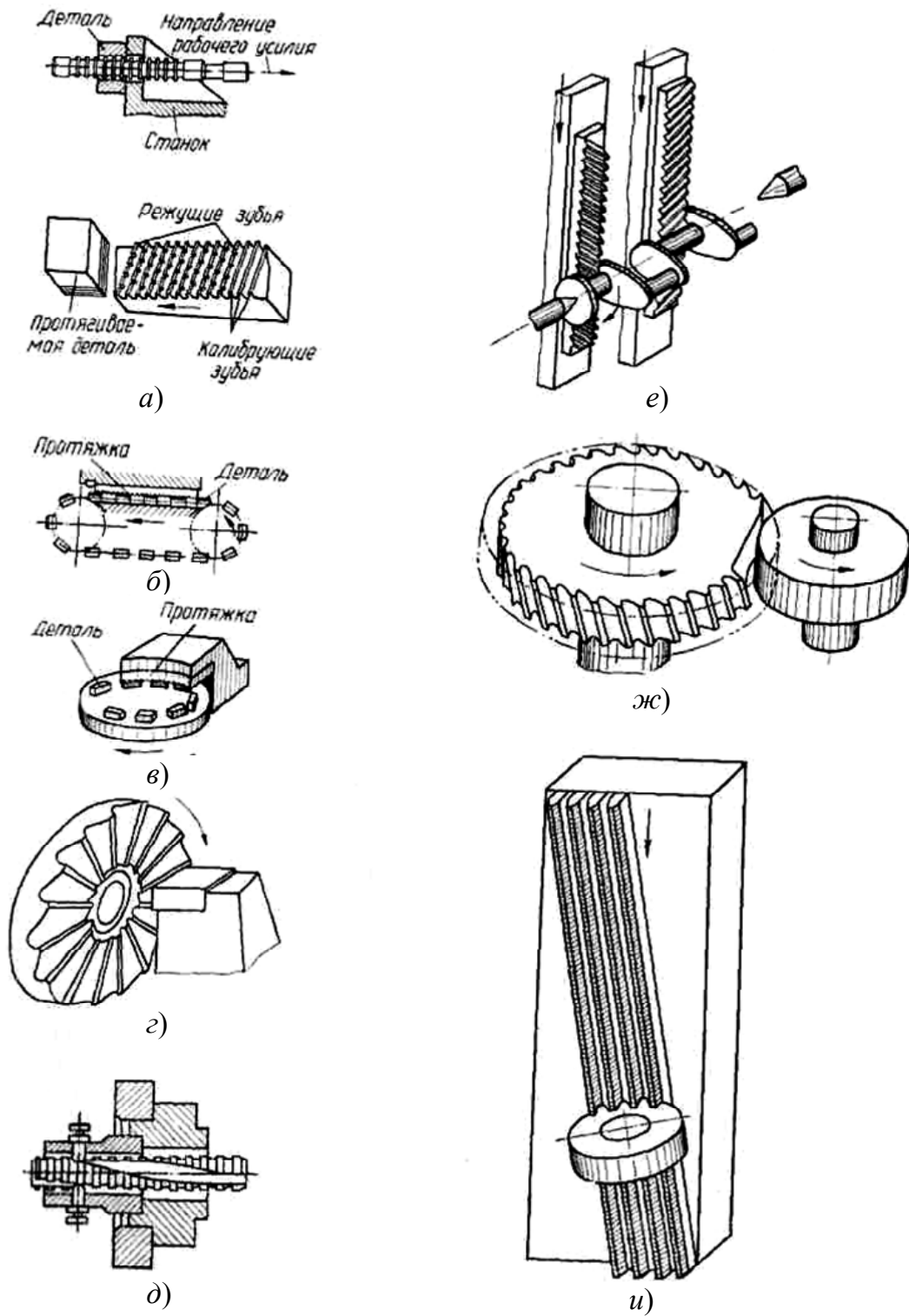


Рис. 27. Схемы обработки протяжками

*Цель работы:* получить навыки в определении основных параметров протяжек.

## Порядок выполнения работы

1. Получить задание у преподавателя.

2. Измерить хвостовик протяжки и определить место сварки. Проверить полученные параметры на соответствие рекомендациям. Протяжки из быстрорежущей стали диаметром до 15 мм и протяжки из легированных сталей всех размеров изготавливают цельными; диаметром 15...40 мм – сварными; диаметром свыше 40 мм – сварными или сборными. В последнем случае хвостовик вместе с передней шейкой, переходным конусом и частью передней направляющей соединяются с рабочей частью при помощи резьбы. Хвостовик со стержнем протяжки сваривают по шейке на расстоянии 15...25 мм от начала переходного конуса. Материал хвостовика – обычно стали 45Х или 40Х (рис. 28, 29, табл. 3, 4). Рекомендуемые размеры навертных хвостовиков сборных протяжек приведены на рис. 29 и в табл. 5.

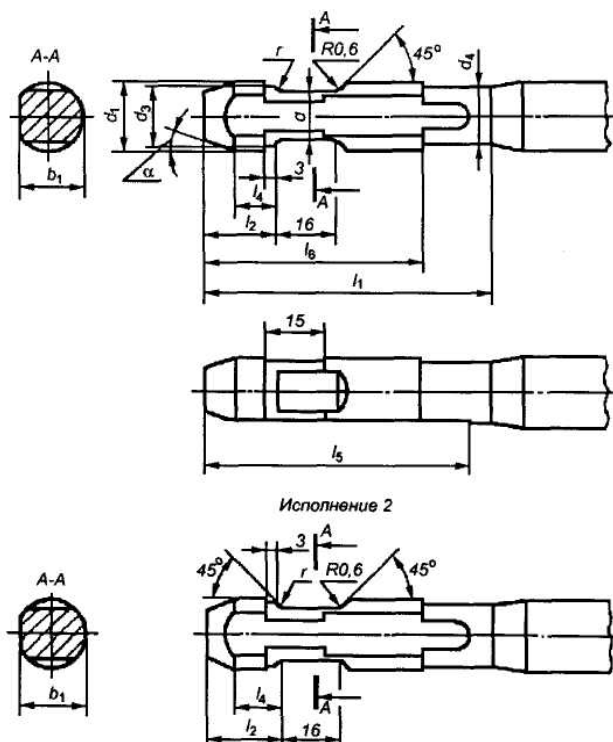


Рис. 28. Эскизы хвостовиков круглых протяжек с плоской опорной поверхностью и боковыми лысками (ГОСТ 4044–70)

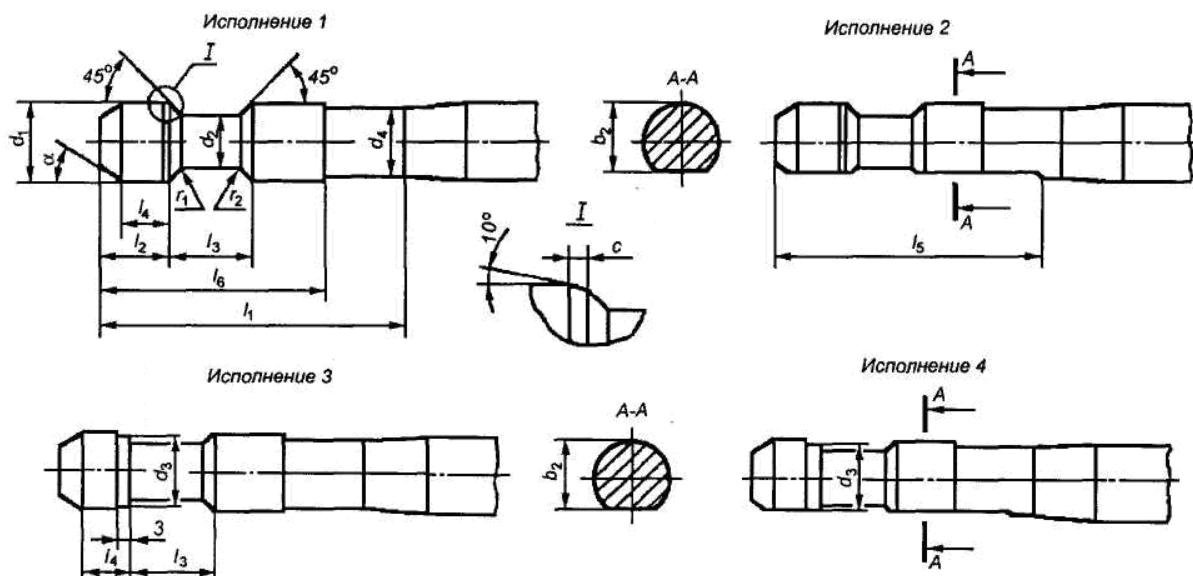


Рис. 29. Эскизы хвостовиков круглых протяжек с круговой выточкой (ГОСТ 4044–70)

3. Определить силу, допускаемую прочностью хвостовика, по формуле

$$P_{\text{хв}} = [\sigma]_p F_{\text{оп}} \leq P_{z \text{ max}},$$

где  $[\sigma]_p$  – допустимое напряжение при растяжении, МПа;  $F_{\text{оп}}$  – площадь опасного сечения хвостовика, мм<sup>2</sup>.

Для хвостовиков из быстрорежущей стали  $[\sigma]_p = 400$  МПа; для хвостовиков из сталей ХВГ и 40Х  $[\sigma]_p = 300$  МПа.

4. Измерить диаметр передней направляющей, и рассчитав наименьший диаметр по допуску  $e8$ , сделать заключение о годности протяжки.

Если передняя направляющая выполнена с тремя широкими лысками, расположенными под углом  $120^\circ$  друг к другу, с таким расчетом, чтобы ширина оставшихся цилиндрических поверхностей была равна 8...12 мм, то у отверстия под протягивание допускаются большие отклонения от цилиндрической формы, или когда отверстие предварительно не обработано после штамповки и отливки.

Рассчитать длину обрабатываемого отверстия:

$$l = 1,33l_{\text{п.н.}}$$

Формы передней направляющей в продольном сечении зависят от длины отверстия (рис. 31).

**Хвостовики круглых протяжек с плоской опорной поверхностью  
и боковыми лысками (ГОСТ 4044–70)**

$d_{1e8}$	$d_3$	$d_{4-1,0}^{-0,5}$	$ac11$	$b_1d9$	$l_1$	$l_2$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$\alpha$	$r$	Площадь по сечению А-А, мм <sup>2</sup>
4,0	3,8	4,0	2,0	3,7	100	16	-	90	80	-	0,2	6,6
5,0	4,8	5,0	3,0	4,6								13,2
5,5	5,3	5,5	3,3	5,1								15,8
6,0	5,8	6,0	4,0	5,6								20,9
7,0	6,8	7,0	4,2	6,5								23,8
8,0	7,8	8,0	5,0	7,5								35,4
10,0	9,8	10,8	6,0	9,5	120	20	12	110	100	10°	0,3	61,5
12,0	11,7	12,0	8,0	11,5						85,2		
14,0	13,7	14,0	8,0	13,5						96,1		
16,0	15,7	16,0	10,0	15,5						145,0		
18,0	17,7	18,0	12,0	17,5						193,0		

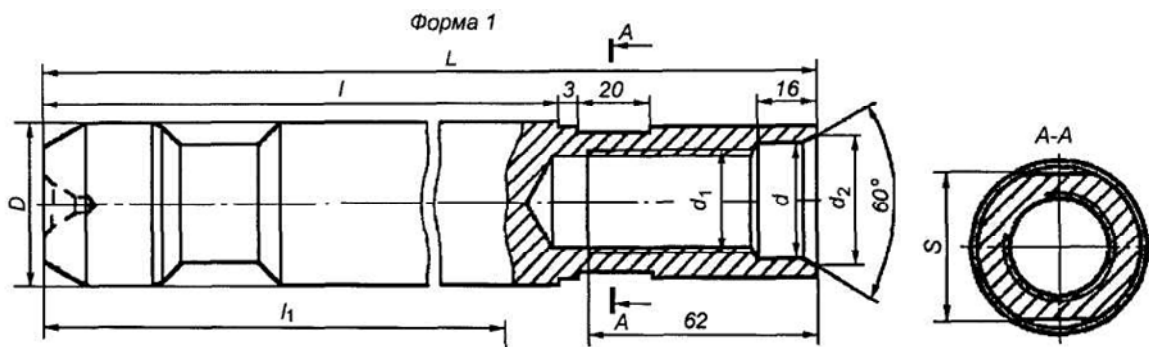


Рис. 30. Эскиз навертного хвостовика

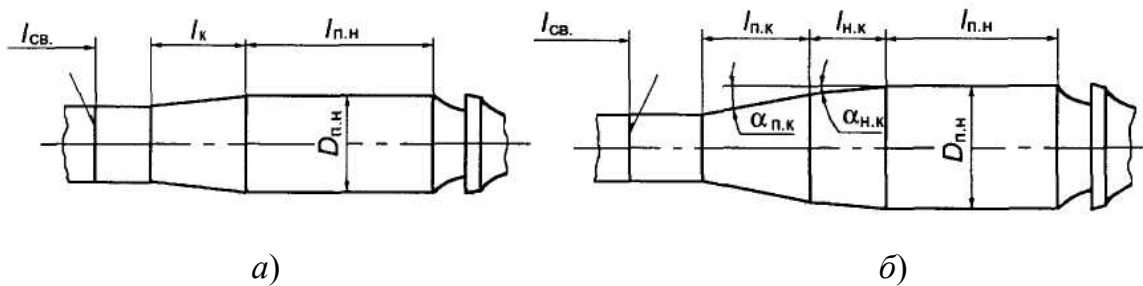


Рис. 31. Конструктивные исполнения передней направляющей:  
 а – для отверстий небольшой длины (менее  $5D$ );  
 б – для отверстий большой длины (свыше  $5D$ )

Таблица 4

## Хвостовики круглых протяжек с круговой выточкой (ГОСТ 4044–70)

$d_1c8$	$d_2c11$	$d_3$	$d_{4-1,0}^{-0,5}$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$b_2e8$	$r_1$	$r_2$	$c$	$\alpha$	Площадь по сечению А-А, мм <sup>2</sup>			
12	8,0	11,7	12	120	20	20	12	110	100	10,5	0,2	0,6	0,5	10°	50,3			
14	9,5	13,7	14							12,5	0,3				220	120	12,5	70,9
16	11,0	15,7	16							14,0							95,0	
18	13,0	17,7	18							16,0							132,7	
20	15,0	19,7	20	17,0	176,7													
22	17,0	21,7	22	140	25	25	16	120	120	19,0	1,0	1,0	30°	227,0				
25	19,0	24,7	25							21,5				283,5				
28	22,0	27,6	28	160	32	32	20	140	140	24,0	0,4	1,6	1,5	30°	380,1			
32	25,0	31,6	32							27,5					490,9			
36	28,0	35,6	36							31,0					615,7			
40	32,0	39,5	40							34,5					804,2			
45	34,0	44,5	45	180	40	40	25	160	160	39,0	0,5	2,5	1,5	30°	907,9			
50	38,0	49,5	50							43,5					1134,1			
56	42,0	55,4	56	210	40	40	25	190	190	48,5	0,6	4,0	2,0	30°	1385,4			
63	48,0	62,4	63							55,0					1809,6			
70	53,0	69,4	70							61,0					2206,2			
80	60,0	79,2	80	240	50	50	32	220	220	69,5	0,8	6,0	2,0	30°	2827,4			
90	70,0	89,2	90							78,5					3848,4			
100	75,0	99,2	100							87,0					4417,9			

Таблица 5

## Рекомендуемые размеры навертных хвостовиков

Форма	$D$	$D_1$	$dH9$	$d_17H$	$d_2$	$L$	$l$	$l_1^{+2}$	$S_{-1}$
1	45	—	32	M30 x 2	36	230	160	—	41
		—				255		—	
	50	—	38	M36 x 3	42	230		—	46
		—				255		—	
2	63	—	50	M48 x 3	54	270	190	—	55
		70				295	180	210	
1	70	—					190	—	65

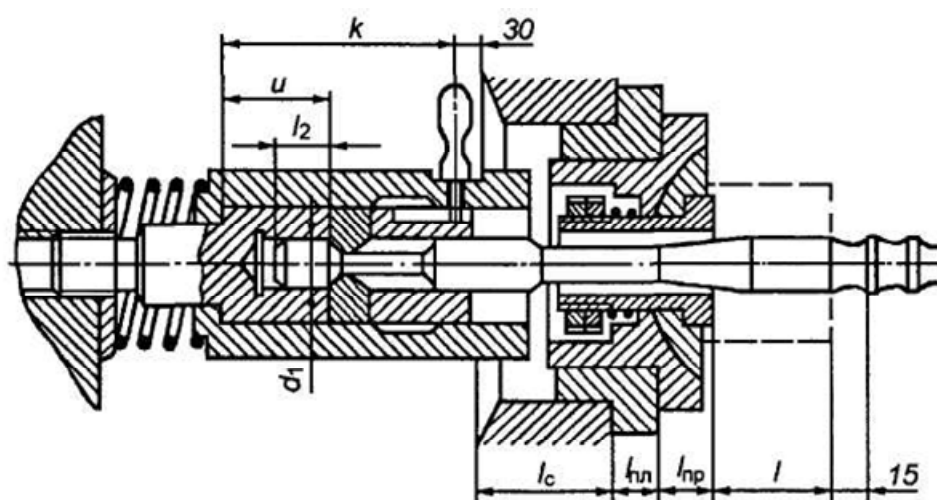
5. Измерить расстояние от торца протяжки до первого зуба и определить его составляющие. Расстояние  $L_1$  от переднего торца протяжки до первого зуба (рис. 32) рассчитывается в зависимости от используемого на протяжном станке патрона. Например, для наи-



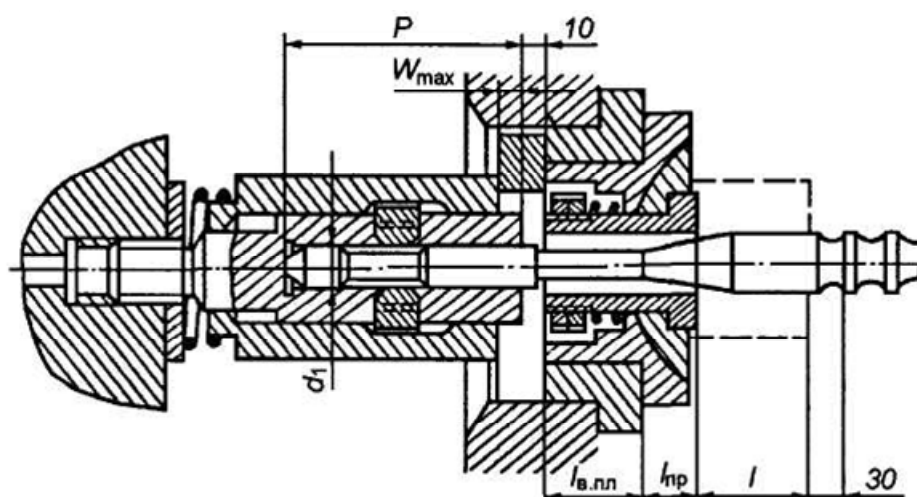
более распространенного быстродействующего патрона с ручным управлением (хвостовик с круговой выточкой) расстояние  $L_1$  определяют по формуле

$$L_1 = l_c + l_{пл} + l_{пр} + l + k - u + l_2 + 45,$$

где  $l_c$  – толщина стола протяжного станка (задано преподавателем);  $l_{пл}$  – толщина фланца опорной планшайбы;  $l_{пр}$  – толщина фланца приспособления (принимается конструктивно, обычно 30...40 мм);  $l$  – длина протягивания;  $k$  и  $u$  – параметры патрона для крепления протяжки;  $l_2$  – длина захватной части переднего хвостовика протяжки (рис. 32, табл. 6).



a)



б)

Рис. 32. Схемы к расчету длины протяжки от переднего торца до первого зуба

Приняв быстродействующий патрон с автоматическим управлением, получим:

$$L_1 = P + l_{\text{в.пл}} + l_{\text{пр}} + l - W_{\text{max}} + 40,$$

где  $l_{\text{в.пл}}$  – толщина планшайбы станка; величины  $P$  и  $W_{\text{max}}$  выбираются в зависимости от диаметра  $d_1$  хвостовика (табл. 6).

**6.** Измерить расстояние от переднего торца до места сварки. Допускаемая величина расстояния от переднего торца протяжки до места сварки принимается из следующих соображений:

- если диаметр хвостовика  $d_1 < 30$ , то  $l_{\text{св}} = L_1 - l_{\text{п.н}} - l_{\text{к}} - 0,5d_1$ ;
- если диаметр хвостовика  $d_1 > 30$ , то  $l_{\text{св}} = L_1 - l_{\text{п.н}} - l_{\text{к}} - 15$ .

Таблица 6

Ориентировочные размеры  $P$  и  $W_{\text{max}}$ , мм

Диаметр хвостовика $d_1$	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	42	50	63	70
$P$	73		77		95		100		108		128		156	
$W_{\text{max}}$	19				22				23		27		28	

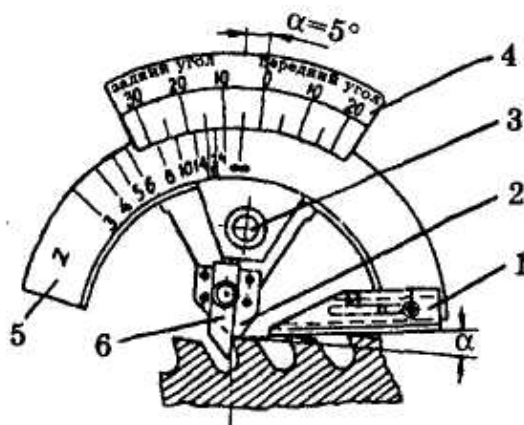


Рис. 33. Схема измерения углов протяжки

**7.** Измерить диаметр задней направляющей, и рассчитав наименьший диаметр по допуску  $f7$ , сделать заключение о годности протяжки.

**8.** Измерить углы зубьев инструмента и проверить их на соответствие рекомендациям (табл. 7, рис. 33). По форме передней поверхности и численному значению углов определить возможные обрабатываемые материалы, используя табл. П.1.1 и П.1.2 приложения 1.

Сравнить численные значения задних углов протяжек с рекомендуемыми:

– для черновых и переходных зубьев –  $2^\circ \leq \alpha_{\text{и черн}} \leq 3^\circ$ ;



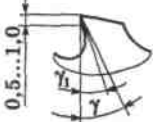
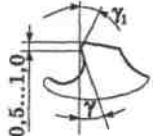
– для чистовых зубьев –  $1^\circ \leq \alpha_{\text{и чис}} \leq 2^\circ$ ;

– для калибрующих зубьев –  $0,5^\circ \leq \alpha_{\text{и к}} \leq 1,5^\circ$ .

На задних поверхностях черновых, переходных и чистовых зубьев может выполняться цилиндрическая ленточка шириной не более 0,05 мм, на калибрующих зубьях ширина ленточки может быть равна 0,2–0,6 мм.

Таблица 7

Углы заточки режущей части протяжек, град

Обрабатываемый материал	Черновые и переходные зубья		Чистовые и калибрующие зубья			
	Форма	$\gamma$	Форма	$\gamma$	$\gamma_1$	
Стали I группы обрабатываемости, алюминиевые сплавы X группы обрабатываемости		20		20	–	
Стали II и III групп обрабатываемости		15		18		
Стали IV и V групп обрабатываемости				10		
Чугуны ковкие VI и VII групп обрабатываемости		10			10	0...5
Чугуны серые VI и VII групп обрабатываемости, бронзы и латуни VIII и IX групп обрабатываемости					10	-5...0

*Примечание.* Для протяжек диаметром менее 20 мм допускается постоянный передний угол  $\gamma = 10^\circ$ .

9. Измерить диаметры первых режущего  $D_1$  и калибрующего  $D_k$  зубьев. Рассчитать полный припуск  $A$  на протягивание:

$$A = D_k - D_1.$$

10. Изобразить профиль зубьев и форму стружечной канавки протяжки.

Чаще всего применяются формы зубьев и стружечных канавок, представленные на рис. 34. Проверить соотношение:

$$t_{\text{чизм}} \geq (1,25 \dots 1,5) \sqrt{l},$$

где  $l$  – длина обрабатываемого отверстия.

11. Определить схему срезания припуска, используя рис. 35 и табл. 8.

В протяжках с одинарной схемой срезания припуска определить размеры и положение стружкоразделительных канавок. Деление стружки необходимо осуществлять при протягивании пластичных материалов, когда образуется сливная стружка. При обработке материалов, дающих стружку надлома, стружкоразделительные канавки можно не делать.

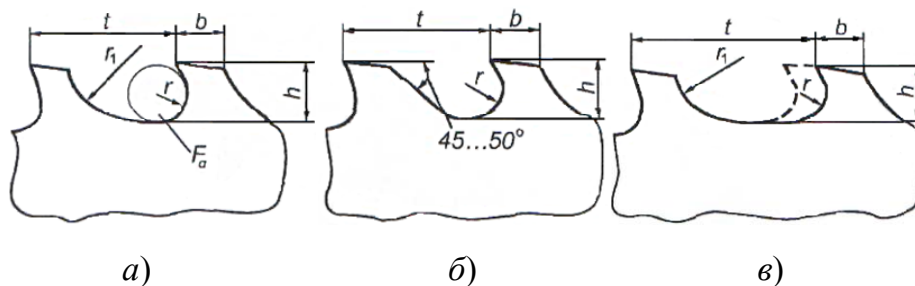


Рис. 34. Рекомендуемые формы зубьев и стружечных канавок круглых протяжек:  
*a* – двухрадиусные канавки, используемые при обработке пластичных материалов; *б* – канавки с плоской спинкой и радиусной передней поверхностью зуба, применяемые при обработке хрупких материалов с образованием стружки надлома; *в* – удлиненные канавки с радиусными спинкой и передней поверхностью зубьев и прямолинейным участком по дну канавки, используемые при обработке глубоких отверстий

Таблица 8

### Понятия и определения схем срезания припуска

Термины	Определения
1. Схема срезания припуска	Схематическое изображение тела припуска в поперечной и продольной секущих плоскостях, разделенного на слои соответственно режущими кромками и траекториями их движения, с выделением слоев разнонаправленной штриховкой
2. Профильная схема срезания припуска	Схема срезания припуска, в которой линии, разделяющие припуск на слои, в секущих плоскостях параллельны соответственно образующей и направляющей геометрической поверхности детали
3. Генераторная схема срезания припуска	Схема срезания припуска, в которой линии, разделяющие припуск на слои, в секущих плоскостях не параллельны соответственно с образующей и направляющей геометрической поверхности детали
4. Комбинированная схема резания припуска	Схема срезания припуска, в которой тело припуска в поперечной секущей плоскости разделено по профильной схеме, а в продольной – по генераторной или наоборот

Термины	Определения
5. Схема срезания припуска (профильная, генераторная, комбинированная) одинарная	Схема срезания, в которой каждый слой удаляется одним зубом
6. Схема срезания припуска (профильная, генераторная, комбинированная) групповая	Схема срезания, в которой каждый слой удаляется несколькими зубьями
7. Схема срезания припуска (профильная, генераторная, комбинированная) постоянная	Схема срезания припуска, в которой геометрические параметры слоев вдоль образующей и направляющей постоянны
8. Схема срезания припуска (профильная, генераторная, комбинированная) переменная	Схема срезания припуска, в которой геометрические параметры слоев вдоль образующей и направляющей переменны

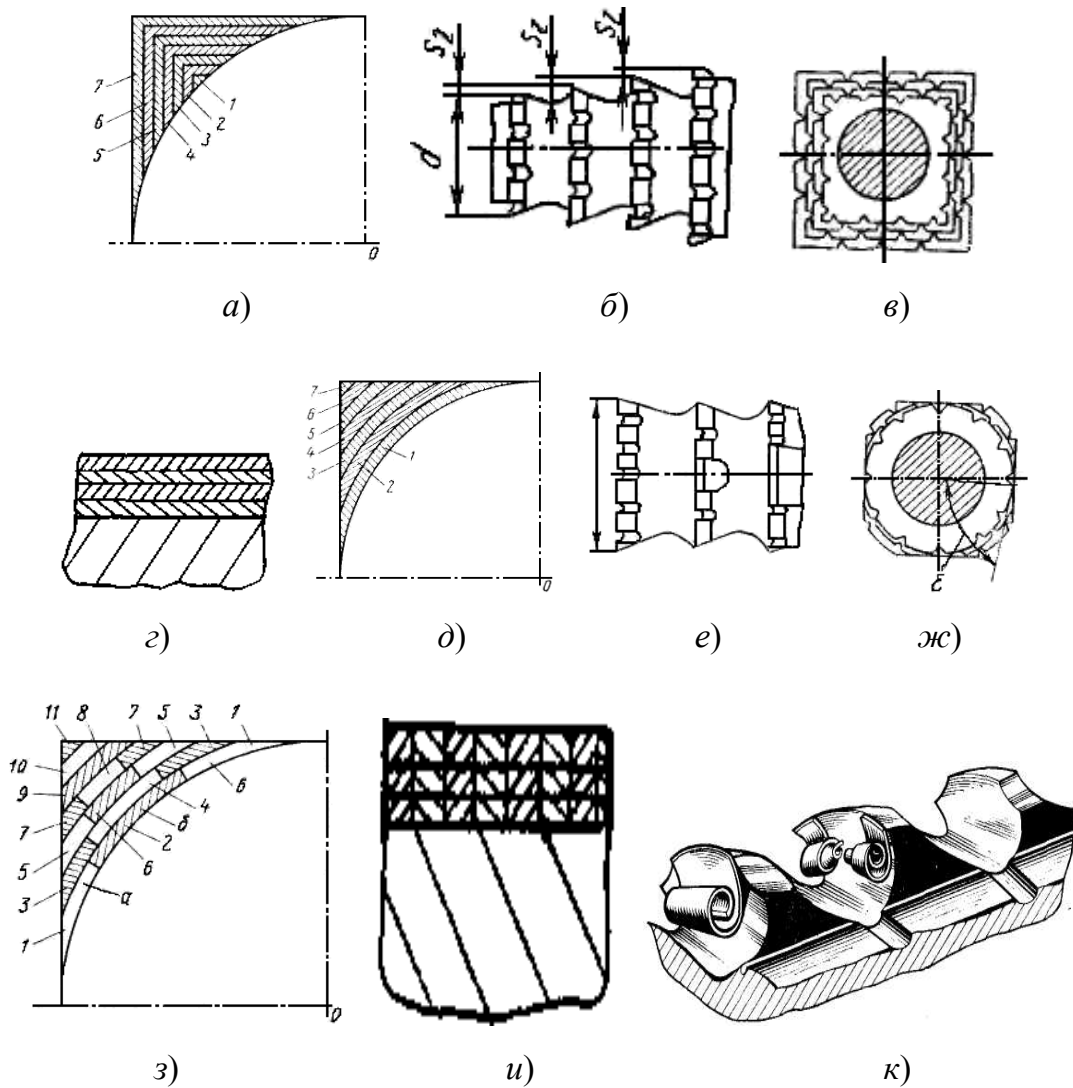


Рис. 35. Эскизы схем срезания припуска

Деление стружки по ширине облегчает свертывание ее в виток, что требует для ее размещения меньшего объема стружечной канавки, способствует свободному удалению стружки из межзубных канавок после их выхода из контакта с обрабатываемой поверхностью детали. Стружкоразделительные канавки у протяжек одинарной схемы срезания наносятся на каждом режущем зубе в шахматном порядке (рис. 36, а). Профиль стружкоразделительных канавок может быть прямоугольным, полукруглым и угловым с углом  $\omega_k = 45...60^\circ$  (рис. 36, б). Прямоугольный и полукруглый профили находят ограниченное применение, так как быстро изнашиваются и на вершинах таких канавок часто образуются трещины. Угловые канавки имеют угол при вершине более  $90^\circ$  и обладают большей износостойкостью. Направление канавок соответствует направлению движения протяжки. Дно канавок должно быть расположено параллельно задней поверхности зуба протяжки. Только в этом случае угол  $\alpha_1$  будет больше нуля. Достичь этого можно лишь при достаточно большом шаге, когда будет обеспечен выход шлифовального инструмента, которым прорезают стружкоразделительные канавки. Чаще всего дно канавки параллельно оси протяжки и угол  $\alpha_1 = 0^\circ$  (рис. 35, б). В протяжках с групповой схемой срезания припуска для назначения количества выкружек и их ширины на черновых зубьях весь периметр стружки, срезаемый одной группой, разделяют на равные части между зубьями группы (рис. 37). На каждый зуб группы приходится часть периметра  $l_z = nD / z_c$ . Стружка, срезаемая каждым зубом, равномерно распределяется между его несколькими режущими секторами, расположенными на равном расстоянии друг от друга по периметру зуба и разделенными между собой выкружками.

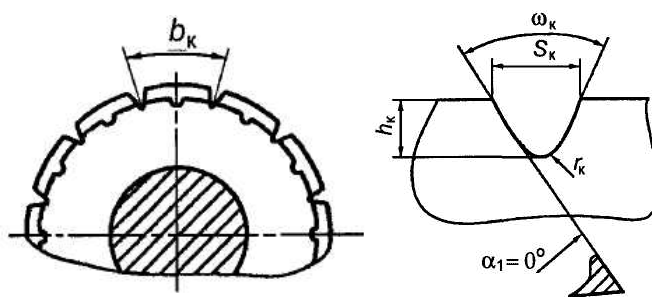


Рис. 36. Расположение и размеры стружкоразделительных канавок

Количество режущих секторов, а значит, и выкружек определяют по формуле

$$N = \frac{l_z}{a},$$

где  $a$  – ширина режущего сектора; рекомендуется  $a = (1,0...1,3)\sqrt{D}$  для протяжек диаметром менее 100 мм и  $a = 10...12$  мм – для протяжек с диаметром больше 100 мм.

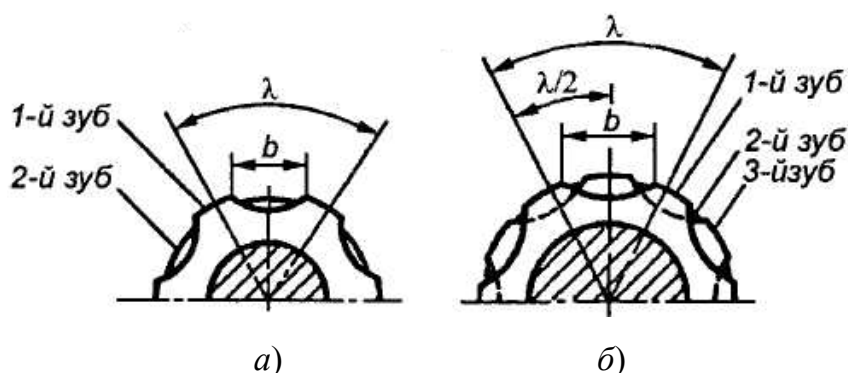


Рис. 37. Схема расположения выкружек: а – группа из 2-х зубьев; б – из 3-х зубьев

Окончательно для протяжек диаметром меньше 100 мм

$$N = \frac{(2,4...3,1)\sqrt{D}}{z_c}.$$

Для протяжек диаметром более 100 мм

$$N = \frac{(0,25...0,3)\sqrt{D}}{z_c}.$$

Радиус выкружек  $R_B$  назначают в зависимости от ширины выкружки и диаметра протяжки (рис. 38).

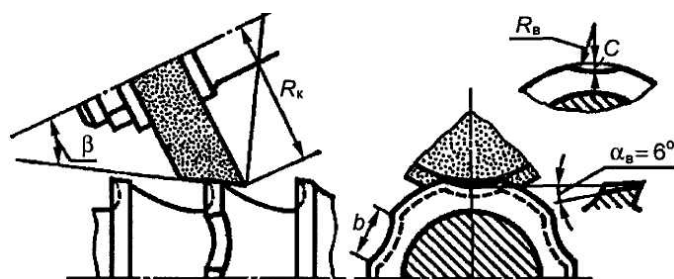


Рис. 38. Схема вышлифовки выкружек

Для обеспечения свободного прохождения стружки в нижней части профиля выкружки необходимо, чтобы глубина выкружки  $C > 3S_z$ .

Количество выкружек на переходных и чистовых зубьях рассчитывают по формуле  $N_4 = 1,45\sqrt{D}$  с округлением до ближайшего четного числа.

Ширину выкружек на переходных и чистовых зубьях для обеспечения перекрытия выкружек режущими секторами последующих зубьев принимают на 2...3 мм меньше, чем на черновых зубьях:  $b_n = b_0 - (2...3)$ .

**12.** Проверить коэффициент заполнения стружечной канавки  $K$ , предварительно измерив глубину стружечной канавки и подъем на зуб:

$$K = \frac{\pi h^2}{4l_s S_z} \geq K_T,$$

где  $l_s$  – суммарная длина протягиваемых участков детали, мм.

Значения коэффициента заполнения стружечной канавки  $K_T$  для протяжек с одинарной схемой срезания припуска приведены в табл. 9.

Для протяжек с групповой схемой срезания припуска при обработке сталей всех групп обрабатываемости и алюминиевых сплавов значения коэффициента  $K_T$  равны 3 (допускается 2,5); для материалов VI, VII, VIII и IX групп обрабатываемости  $K_T = 2,5$  (допускается 2) (табл. П.1.1).

Для обеспечения достаточной жесткости протяжек, имеющих диаметр сечения по дну стружечной канавки меньше 40 мм, необходимо, чтобы глубина стружечной канавки удовлетворяла соотношению  $h \geq (0,2...0,23)D$ , где  $D$  – диаметр протяжки.

Таблица 9

**Коэффициенты заполнения стружечных канавок протяжек с одинарной схемой срезания припуска**

$S_2$ , мм	Обрабатываемый материал				
	Сталь с $\sigma_2$ , МПа			Чугун, бронза, свинцовистая латунь	Латунь, алюминиевые сплавы
	До 400	400...700	Свыше 700		
До 0,03	3	2,5	3	2,5	2,5
Свыше 0,03 до 0,07	4	3	3,5	2,5	3
Свыше 0,07 до 0,10	4,5	3,5	4	3	3,5



Выбор подъема на зуб  $S_z$  или подъема на группу зубьев  $S_T$  имеет решающее значение для процесса протягивания. Чем толще стружка, снимаемая одним зубом или группой зубьев, тем короче будет протяжка, меньше ее стоимость и выше производительность процесса протягивания. Однако при срезании чрезмерно толстых стружек растут силы резания, что может привести к разрыву протяжки, а объем стружечных канавок может оказаться недостаточным для размещения стружки, и следовательно, будет низким качество обработанных поверхностей. Кроме того, величину наибольшего подъема на зуб ограничивают срывы или сколы металла, появляющиеся при выходе зубьев из контакта с деталью, а также задиры на обработанной поверхности.

**13.** Выбрать обрабатываемый материал по значению подъема на зуб. У протяжек одинарной схемы срезания припуска подъем на зуб обычно принимается постоянным (табл. 10), за исключением нескольких последних зубьев (от 2 до 5), на которых  $S_z$  постоянно уменьшается. Эти зубья называются переходными и необходимы для обеспечения плавности падения нагрузки на протяжку, что способствует снижению шероховатости обработанной поверхности. Подъем на зуб для последнего переходного зуба должен быть не более 0,010...0,02 мм.

Таблица 10

**Подъемы режущих зубьев круглых протяжек  
с одинарной схемой срезания припуска, мм**

Обрабатываемый материал					
Стали		Чугуны		Алюминиевые сплавы	Бронза, латунь
углеродистые и малолегированные	высоколегированные	серые	ковкие		
0,015...0,03	0,01...0,03	0,03...0,08	0,05...0,10	0,02...0,05	0,05...0,12

В протяжках с групповой схемой срезания припуска различают черновые зубья, срезающие основную его часть, переходные и чистовые зубья, обеспечивающие требуемые шероховатость и размеры протянутой поверхности. При этом черновые зубья работают с максимально допустимыми значениями подъема на зуб, переходные – с постоянно снижающимися  $S_z$  и чистовые – с наименьшим допускаемым значением  $S_z = 0,01...0,005$  мм.

**14.** Определить количество одновременно работающих зубьев по следующей формуле:

$$Z_p = \frac{l}{t} + 1,$$

где  $l$  – длина протягиваемого отверстия.

При протягивании прерывистых отверстий  $Z_p$  подсчитывают для каждого участка и округленные их значения суммируют:

$$Z_p = Z_{p1} + Z_{p2} + Z_{p3} + \dots .$$

Минимально допустимое  $z_p = 3$ . При очень короткой длине протягиваемого участка допускается  $Z_p = 2$ .

**15.** После выбора размеров черновых стружечных канавок следует определить допускаемую силу резания по прочности режущей части протяжек:

$$P_{z1} = F_1 [\sigma_1],$$

где  $[\sigma_1] = 300 \dots 350$  МПа – допустимое напряжение в материале режущей части протяжки;  $F_1$  – площадь поперечного сечения протяжки по впадине первого зуба.

Для круглой протяжки

$$P_{z1} = \frac{\pi(D_0 - 2h)^2}{4} [\sigma_1] \leq P_{z \max} .$$

Уточнить марку обрабатываемого материала по максимальному значению коэффициента  $C_p$  (табл. П.1.3) или по  $K_c$  (табл. П.1.4).

Рассчитать максимальную силу протягивания, которая для круглых протяжек может быть определена как:

$$P_{z \max} = C_p D S_{z0}^x Z_p K_m K_c K_\gamma K_\eta K_\kappa K_p, \text{ либо } P_{z \max} = k_c \pi D Z_p K_m K_c K_\gamma K_\eta K_\kappa K_p,$$

где  $C_p$  и  $x$  – коэффициент и показатель степени (табл. П.1.3);  $D$  – диаметр отверстия после протягивания;  $S_z$  – подъем черновых зубьев;  $Z_p$  – наибольшее количество одновременно работающих зубьев;  $K_m, K_c, K_\gamma, K_\eta, K_\kappa, K_p$  – коэффициенты, учитывающие, соответственно, влияние обрабатываемого материала, условий охлаждения, переднего угла, степени износа зубьев протяжки, группы качества протягиваемого отверстия и способа разделения стружки (табл. П.1.6);  $k_c$  – удельная сила резания при протягивании (табл. П.1.4).

Для протяжек с групповой схемой срезания припуска вместо  $z_p$  следует подставлять количество одновременно работающих черновых групп зубьев:  $Z_o = \frac{Z_p}{Z_{rp}}$ , где  $Z_{rp}$  – количество зубьев в черновой группе.

16. Определить минимальную тяговую силу станка:

$$Q \geq \frac{P_{z \max}}{0,9}.$$

Для протяжек с групповой схемой срезания припуска определяются подъемы на переходных и чистовых группах зубьев, а также припуски  $A_{\text{п}}$  – для переходных,  $A_{\text{ч}}$  – для чистовых зубьев (табл. 11, П.1.7). Тогда припуск на черновые зубья равен:

$$A_{\text{ч.один}} = A - A_{\text{п}} - A_{\text{ч}}.$$

17. Измерить длину каждой части и общую длину рабочей части протяжки:

$$L_{\text{р}} = l_0 + l_{\text{п}} + l_{\text{ч}} + l_{\text{к}}.$$

18. Определить группу качества обрабатываемого отверстия, обеспечиваемого протяжкой, по табл. 11 и параметры отверстия – по табл. 12.

19. Измерить шаги чистовых и калибрующих зубьев и проверить их по рекомендациям табл. 13. Меньший шаг  $t_1$  принимают по табл. 13 в зависимости от шага черновых зубьев  $t$  (рис. 39). Здесь же даны значения среднего и большего шага. Первый шаг на чистовой части (между первым и вторым чистовыми зубьями) имеет большее значение. Профиль стружечной канавки для всех трех шагов одинаковый (т. е. одинаковы  $h, b, r, r_1$ ).

Таблица 11

**Припуск на диаметр, подъемы на чистовых зубьях, количество чистовых и калибрующих зубьев круглых протяжек**

Группа качества	Число двухзубых секций при подаче $S_{\text{гч}}$ , мм			Количество чистовых зубьев $z_{\text{ч}}$	Припуск на диаметр чистовой части $A_{\text{ч}}$ , мм	Количество калибрующих зубьев $z_{\text{к}}$
	0,02	0,01	0,005			
1	2	2	2	12	0,14	7
2	1	2	2	10	0,10	6
3	1	2	–	6	0,08	5
4	1	1	–	4	0,06	4

## Группы качества протягиваемых цилиндрических отверстий

Группа качества	Технические требования	
	Параметр шероховатости	Квалитет точности
1	$R_a \leq 1,25$	Все, начиная с 5
2	$R_a \leq 2,5$	7, 8
3	$R_z \leq 20$	9, 10
4	$R_z \leq 40$	11 и грубее

Размеры и форма калибрующих зубьев у протяжек всех схем срезания обычно одинаковы и соответствуют размерам последнего режущего зуба и форме готового отверстия.

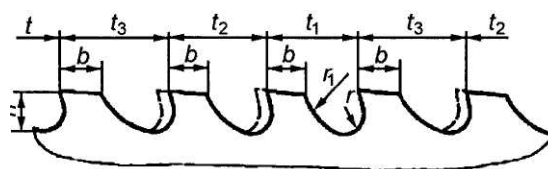


Рис. 39. Эскизы к определению шагов чистовых зубьев круглых протяжек групповой схемы срезания припуска

По мере переточек зубья калибрующей части становятся режущими, и после нескольких переточек первый калибрующий зуб будет выполнять работу последнего режущего зуба. В дальнейшем в работу вступает второй калибрующий зуб и так далее, пока не будет использована большая часть калибрующих зубьев. В любом случае на протяжке должно оставаться не менее трех калибрующих зубьев.

**20.** Проверить на принадлежность протяжки к комплекту. Длина протяжки не должна быть больше предельной величины  $L_{\max}$ , которая ограничивается:

- 1) наибольшим ходом каретки протяжного станка;
- 2) производственными возможностями инструментального цеха;
- 3) короблением протяжки при ее термической обработке.

При изготовлении протяжек в инструментальных цехах или на заводах чаще всего используются фрезерные, шлифовальные, заточные и другие станки универсального назначения, которые также ограничивают общую длину протяжки.

По возможностям станочного оборудования длина протяжки не должна превышать 1500 мм. Указанное ограничение условное, так как на специальных инструментальных заводах имеется оборудование, позволяющее обрабатывать и более длинные протяжки.

Размеры чистовых зубьев протяжек (по ГОСТ 20365–74), мм

$t$	$t_3$	$t_2$	$t_1$	$t$	$t_3$	$t_2$	$t_1$
4,0	–	–	4,0	16	$t_1 + 2$	$t_1 + 1$	11
4,5	–	–		17			12
5,0	–	–		18			13
5,5	$t_1 + 1$	$t_1 + 0,5$	4,0	19			14
6,0			4,5	20			15
7,0			5,0	21			16
8,0			5,5	22			17
9,0	$t_1 + 2$	$t_1 + 1$	6,0	24			18
10,0			7,0	25			19
11,0				26			20
12,0			8,0	28	22		
13,0			9,0	30	$t_1 + 4$	$t_1 + 2$	
14,0			10,0	32			
15,0				11,0	–	–	–

*Примечание.* Размеры  $h, b, r, r_1$  профиля устанавливаются в зависимости от шага  $t_1$  – одинаковые для всех трех шагов. Форма профиля зубьев для шагов  $t_2$  и  $t_3$  удлиненная.

Однако очень длинные и в особенности тонкие протяжки при термической обработке обычно дают большое коробление, которое невозможно устранить самой тщательной ее правкой. Проверить условие:  $L \leq 40D$ , где  $D$  – диаметр протяжки.

Каждая протяжка комплекта, кроме последней, заканчивается обычно двумя зубьями одинакового размера, что приводит к необходимости увеличения ее длины на величину  $2t$  в каждой протяжке. Последняя протяжка должна иметь калибрующие зубья, как и у однопроходных протяжек. Первый зуб комплекта протяжек, кроме первой, имеет размер, равный размеру последних зубьев предыдущей протяжки. Это вызывает увеличение длины на один шаг на каждую протяжку, кроме первой.

Таким образом, суммарная длина режущих зубьев всех протяжек комплекта будет равна  $l_{\text{раб}} = l_p + l_k + 3t(j-1)$ , где  $l_p$  – длина режущей части;  $l_k$  – длина калибрующей части;  $j$  – количество протяжек в комплекте;  $2t(j-1)$  – увеличение длины за счет одинаковых зубьев в конце протяжки;  $t(j-1)$  – увеличение длины за счет зубьев без подъема в начале протяжек.

Общая длина  $L$  каждой протяжки в комплекте

$$L_j = L_1 + l_p + l_k + \frac{3t(j-1) + l_{3.н} + l_{3.хв}}{j} \leq L_{\text{max}}.$$

Необходимое количество протяжек в комплекте определяется из формулы

$$j \approx \frac{l_p + l_k}{L_{\max} - L_1 - l_{3.н}}$$

Количество протяжек в комплекте принимается как ближайшее целое число, полученное по вышеуказанной формуле:

$$Z_j = \frac{Z_p + Z_k + 3t(j-1)}{j}$$

Это обеспечивает разделение общего расчетного количества режущих  $Z_p$  и калибрующих  $Z_k$  зубьев приблизительно поровну между отдельными протяжками комплекта.

Последняя протяжка комплекта изготавливается по верхней границе поля допуска протягиваемого отверстия.

Форма и поперечные размеры передней направляющей части каждой последующей протяжки в комплекте соответствуют форме и размерам отверстия, обрабатываемого последними зубьями предыдущей протяжки.

**21.** Проверить на соответствие техническим требованиям (приложение 2).

**22.** Изобразить схему переточки протяжки и выбрать параметры абразивного инструмента [2]. Как известно протяжки изнашиваются по задней поверхности (рис. 40). Стойкость протяжек оценивается по максимальному допускаемому линейному износу  $h_{з \max} = 0,4$  мм. Независимо от того, на каком режущем зубе и в каком месте лезвия износ достиг этого предельного значения. Протяжки перетачиваются только по передним поверхностям зубьев.

Определить, какое количество переточек осталось у протяжки.

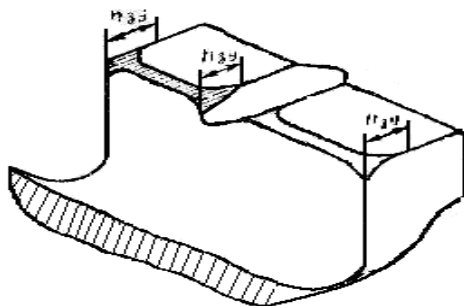


Рис. 40. Эскиз изношенного зуба протяжки

## Структура отчета

1. Схема срезания припуска с обоснованием выбора.
2. Обоснование выбора всех геометрических параметров протяжки.
3. Обоснование выбора обрабатываемого материала, качества обработанной поверхности и модели станка.
4. Таблица соответствия техническим требованиям.
5. Эскиз схемы переточки протяжки с маркировкой абразивного инструмента.
6. Эскиз протяжного блока.
7. Рабочий чертеж (эскиз) протяжки.

## Контрольные вопросы

1. Назовите марки материалов, из которых изготавливают протяжной инструмент.
2. Приведите соотношение для расчета прочности протяжки.
3. Приведите соотношение для расчета расстояния от торца протяжки до первого зуба.
4. Приведите определения углов протяжки и критерии их выбора.
5. Приведите определения схем срезания припуска.
6. Что характеризует коэффициент заполнения стружечной канавки?
7. На что влияет подъем на зуб?
8. На что влияет шаг зубьев?
9. Чем ограничивается длина протяжки?

## Литература

1. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.
2. Попов, С. А. Заточка и доводка режущего инструмента / С. А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.

## Приложения к лабораторной работе № 3

### Приложение 1

*Таблица П.1.1*

**Группы обрабатываемости протягиваемых материалов (по ГОСТ 20365–74)**

Марки материалов	Группа обрабатываемости				
	I	II	III	IV	V
	Твердость НВ				
A12, A20, A30 ГОСТ 1414–75*	≤ 229	–	–	–	–
10, 15, 20, 25 ГОСТ 1050–88	≤ 229	–	–	–	–
30, 25, 40, 45, 50 ГОСТ 1050–88	≤ 255	255...285	285...321	321...364	–
65, 70, 80 ГОСТ 1050–88	≤ 229	229...255	255...285	285...321	321...364
15Г, 20Г, 30Г ГОСТ 4543–71	≤ 241	241...269	269...302	–	–
60Г, 65Г, 70Г ГОСТ 14959–79	≤ 229	229...255	255...285	285...321	321...364
15Х, 15ХА, 20Х, 30Х ГОСТ 4543–71	≤ 255	255...302	–	–	–
35Х, 30ХРА, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х ГОСТ 4543–71	≤ 229	229...269	269...302	302...340	340...364
33ХС, 38ХС, 40ХС ГОСТ 4543–71	–	≤ 229	229...269	269...302	302...340
18ХГ, 20ХГР, 40ХГТР ГОСТ 4543–71	≤ 229	229...269	269...302	302...340	340...364
12ХН2, 12ХН3А, 12ХН4А, 20ХН, 20ХНР, 20ХН3А, 20ХН4А, 30ХН3А, 40ХН, 50ХН ГОСТ 4543–71	≤ 241	241...269	269...321	321...340	340...364
15ХФ ГОСТ 4543–71	≤ 229	229...269	269...302	302...340	340...364
40ХФА ГОСТ 4543–71	–	≤ 255	255...285	285...321	321...340
15ХМ ГОСТ 4543–71	≤ 229	229...269	269...302	302...340	–
30ХМА, 35ХМ ГОСТ 4543–71	–	≤ 229	229...269	269...321	321...340
20ХГНР, 38ХГН ГОСТ 4543–71	≤ 241	241...269	269...302	302...321	321...364
20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГС, 35ХГС ГОСТ 4543–71	–	≤ 229	229...269	269...321	321...340



Продолжение табл. П.1.1

Марки материалов	Группа обрабатываемости				
	I	II	III	IV	V
	Твердость НВ				
20ХН4ФА ГОСТ 4543–71	–	–	≤ 255	255...285	285...321
25Х2Н4МА, 18Х2Н4МА ГОСТ 4543–71	–	–	≤ 255	255...285	285...321
40Х2Н2МА, 38Х2Н2МА ГОСТ 4543–71	–	≤ 229	229...269	269...321	321...340
12Х2Н3МА, 20ХН2М ГОСТ 4543–71	–	–	≤ 255	255...269	269...321
40ХН2МА ГОСТ 4543–71	–	–	≤ 269	269...321	321...340
38Х2МЮА, 38Х2Ю ГОСТ 4543–71	–	–	≤ 269	269...302	302...340
18ХГТ ГОСТ 4543–71	≤ 255	255...302	302...321	–	–
30ХГТ, 35ХГФ, 40ХГТР ГОСТ 4543–71	≤ 229	229...269	269...302	302...321	321...340
15ГН2ТА ГОСТ 4543–71	≤ 229	229...269	269...302	302...321	–
ШХ15 ГОСТ 801–78	–	–	–	≤ 229	–
P9, P18 ГОСТ 19265–73	–	–	–	–	207...255

Окончание табл. П.1.1

Марки материалов	Группа обрабатываемости				
	VI	VII	VIII	IX	X
	Твердость НВ				
Чугун серый СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ40 ГОСТ 1412–85	≤ 197	197...269	–	–	–
Чугун ковкий ферритный КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12 ГОСТ 1215–79	≤ 163	–	–	–	–
Чугун ковкий КЧ 45-7 со структурой зернистого перлита ГОСТ 1215–79	≤ 217	–	–	–	–
Чугун ковкий КЧ 50-5, КЧ 55-4 ГОСТ 1215–79	–	179...269	–	–	–
Чугун серый антифрикционный АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3 ГОСТ 1585–79	160...229	–	–	–	–
Чугун ковкий антифрикционный АЧК-1, АЧК-2 ГОСТ 1585–79	167...217	–	–	–	–
Бронзы безоловянные БрА5, БрА7, БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5, БрКМц3-1, БрКН1-3 ГОСТ 18175–78; БрА9ЖЗЛ, БрАЮЖ4Н4Л ГОСТ 493–79	–	–	65...140	140...200	–
Бронзы оловянные Бр05Ц5С5, Бр03Ц12С5, Бр03Ц7С5Н1 ГОСТ 613–79	–	–	≤ 70	–	–
Бронзы оловянные Бр0Ф6-0,15, Бр0Ф4–0,25 ГОСТ 5017–74	–	–	≤ 130	130...200	–
Латунь ЛЦ16К4, ЛЦ40С, ЛЦ38Мц2С2 ГОСТ 17711–93; Л63, Л68, Л70, ЛА77-2, ЛМц58-2, ЛМцА57-3-1, ЛО62-1, ЛС59-1, ЛАЖ60-1-1 ГОСТ 15527–70	–	–	–	≤ 160	–
Алюминиевые сплавы АЛ1-АЛ9, АЛ10В, АЛ11, АЛ13, АЛ14В–АЛ18В ГОСТ 1583–93; Д1, Д16, АВ, АД, АД1, АМц, В95, АК4, АК6, АК8 ГОСТ 4784–74	–	–	–	–	50...100

Таблица П.1.2

## Рекомендуемые скорости протягивания круглых отверстий, м/мин

Тип производства	Группа качества поверхности	Обрабатываемый материал							
		Сталь					Чугун, бронза		Алюминиевые сплавы
		I	II	III	IV	V	VI, VIII, IX	VII	X
Массовое, крупно- и среднесерийное	1	8	8	6	5	3	9	6	4
	2	9	9	8	6	4	12	6	6
	3	13	12	9	8	4	15	9	9
	4	15	13	12	–	–	15	13	12
Мелкосерийное и единичное	1–4	8	6	3	9	6	4		

*Примечания:*

1. Влияние марки материала режущей части: марка стали с коэффициентом (P18, P12Ф5М – 1,6; P6AM5; P12Ф3 – 1,0; P6M5K5, P6Ф2K8M5 – 2,0; ХВГ – 0,5).

2. При протягивании сталей повышенной вязкости скорость резания снижается на 20...25 %.

3. Для протяжек диаметром свыше 100 мм скорости резания могут быть снижены на 30 %.

Таблица П.1.3

Значения  $C_p$  и  $x$  в формуле для расчета силы протягивания круглой протяжкой

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Временное сопротивление, МПа	$C_p$	$x$
Стали углеродистые	< 200	< 700	7000	0,85
	200...230	700...800	7620	
	> 230	> 800	8420	
Стали легированные	< 200	< 700	7620	0,85
	200...230	700...800	8420	
	> 230	> 800	10000	
Стали хромомолибденовые	250...270	–	8000	0,80
	280...310	–	9100	0,87
Серые чугуны	< 200	–	3000	0,73
	> 200	–	3540	

Таблица П.1.4

Удельные силы резания  $k_c$ , при протягивании сталей, Н/мм

$S_z$ , мм	Передний угол, град					$S_z$ , мм	Передний угол, град				
	5	10	15	20	25		5	10	15	20	25
0,01	78	48	37	30	26	0,19	492	419	385	362	342
0,015	91	60	47	39	34	0,20	513	433	404	380	364
0,02	100	70	56	48	43	0,21	533	462	423	398	381
0,025	113	80	66	57	51	0,22	558	483	443	416	398
0,03	124	91	76	67	60	0,23	578	504	462	434	416
0,035	136	101	85	75	69	0,24	602	525	481	453	433
0,04	148	112	95	84	77	0,25	626	541	501	471	451
0,045	160	122	105	93	86	0,26	645	562	520	494	468
0,05	171	132	114	103	95	0,27	669	583	539	512	491
0,06	195	153	134	121	112	0,28	693	604	559	531	508
0,07	218	174	153	139	130	0,29	711	624	579	549	526
0,08	241	195	172	157	146	0,30	735	645	597	567	544
0,09	264	216	191	176	165	0,31	752	666	617	586	561
0,10	289	236	212	194	181	0,32	776	687	628	604	579
0,11	311	258	230	212	200	0,33	800	708	655	623	596
0,12	334	277	249	232	217	0,34	823	722	675	641	614
0,13	358	298	269	250	237	0,35	840	743	694	659	631
0,14	380	320	288	268	253	0,36	863	763	713	678	649
0,15	403	338	312	286	271	0,37	887	784	733	696	667
0,16	425	360	327	304	291	0,38	910	805	752	714	684
0,17	446	381	346	325	308	0,39	933	825	771	733	702
0,18	468	402	365	343	343	0,40	957	846	791	751	719

Таблица П.1.5

## Рекомендуемые значения подъема на зуб черновых зубьев круглых протяжек с групповой схемой срезания припуска, мм

Скорость резания, м/мин	Группа обрабатываемости													
	I		II		III		VI		VII, VIII		IX		X	
	Группа качества протягиваемой поверхности													
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
До 3	0,18	0,23	0,14	0,18	0,12	0,15	0,16	0,20	0,14	0,18	0,12	0,16	0,15	0,20
3...6	0,14	0,19	0,12	0,15	0,10	0,12	0,13	0,17	0,11	0,15	0,10	0,13	0,12	0,17
6...10	0,12	0,15	0,10	0,12	0,08	0,10	0,10	0,14	0,09	0,12	0,08	0,10	0,10	0,14
10...15	0,10	0,12	0,08	0,10	0,06	0,08	0,08	0,12	0,07	0,10	0,06	0,08	0,08	0,12

Таблица П.1.6

**Поправочные коэффициенты на измененные условия протягивания**

<b>В зависимости от обрабатываемого материала</b>					
<b>Материал</b>		<b>Твердость НВ</b>		<b><math>K_m</math></b>	
Стали I–V групп обрабатываемости	После закалки и отпуска	< 336	1,3		
		336...375	1,4		
	В отожженном и нормализованном состоянии; в состоянии поставки		130...321	1,0	
Инструментальные легированные и быстрорежущие стали		204...229	1,4		
Чугуны серые, ковкие и антифрикционные		< 229	0,5		
VI и VII групп обрабатываемости		> 229	0,7		
Бронзы, латуни VIII и IX групп обрабатываемости, алюминиевые сплавы X группы обрабатываемости		< 110	0,4		
<b>В зависимости от вида СОЖ</b>					
<b>Обрабатываемый материал</b>		<b>СОЖ</b>		<b><math>K_o</math></b>	
Сталь	Масло ОСМ-3		1,0		
	Эмульсия 10-процентная		1,0		
	Масло И-12А		0,9		
	Без охлаждения		1,3		
Чугун	Масло ОСМ-3		1,0		
	Эмульсия 10-процентная		0,9		
	Без охлаждения		1,0		
<b>В зависимости от переднего угла</b>					
<b>Обрабатываемый материал</b>		<b><math>\gamma</math>, град</b>			
		<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
Сталь	$K_\gamma$	1,13	1,00	0,93	0,85
Чугун	$K_\gamma$	1,10	1,00	0,95	–
<b>В зависимости от степени затупления протяжки</b>					
Степень затупления:					<b><math>K_n</math></b>
– острая					1,00
– затупленная					1,15
<b>В зависимости от группы качества протягиваемой поверхности</b>					
Группа качества		1,2	3	4	
$K_k$		1,0	1,1	1,2	
<b>В зависимости от способа разделения стружки</b>					
Способ разделения стружки:					<b><math>K_p</math></b>
– выкружками					1,0
– узкими канавками					1,2
– без разделения					1,3

**Припуск на диаметр, количество и подъемы  
на переходных группах зубьев круглых протяжек**

Подъем на черновых зубьях на сторону $S_{z0}$ , мм	Количество зубьев в группе $Z_{c0}$ на черновой части	Припуск на диаметр переходной части $A_n$ , мм	Количество переходных зубьев $Z_n$	Подъем $S_{zn}$ на сторону на переходных группах зубьев, мм			
				Первую	Вторую	Третью	Четвертую
До 0,03	2-3	—	—	—	—	—	—
	4-5	—	—	—	—	—	—
0,04-0,06	2-3	0,04	2	0,02	—	—	—
	4-5	—	—	—	—	—	—
0,07-0,10	2-3	0,14	4	0,04	0,03	—	—
	4-5	0,04	2	0,02	—	—	—
0,11-0,15	2-3	0,16	4	0,05	0,03	—	—
	4-5	0,06	2	0,03	—	—	—
0,16-0,20	2-3	0,16	4	0,08	0,06	0,03	—
	4-5	0,16	4	0,05	0,03	—	—
0,21-0,25	2-3	0,58	8	0,11	0,09	0,06	0,03
	4-5	0,30	6	0,07	0,05	0,03	—
0,26-0,30	2-3	0,64	8	0,14	0,09	0,06	0,03
	4-5	0,36	6	0,09	0,06	0,03	—
0,31-0,40	2-3	0,76	8	0,17	0,12	0,06	0,03
	4-5	0,40	6	0,11	0,06	0,03	—

## Приложение 2

**Технические требования.** Технические требования к круглым протяжкам определяются ГОСТ 28442–90. В частности, рекомендуемые предельные отклонения диаметров режущих зубьев с подъемами свыше 0,02 мм по диаметру приведены в табл. П.2.1, режущих зубьев с подъемами 0,02 мм и менее и калибрующих зубьев – в табл. П.2.2.

Таблица П.2.1

**Предельные отклонения диаметров режущих зубьев с подъемами свыше 0,02 мм**

Номинальный диаметр зубьев	Предельные отклонения при подъеме на зуб по диаметру, мм			
	Свыше 0,02 до 0,04	Свыше 0,04 до 0,08	Свыше 0,08 до 0,16	Свыше 0,16
До 50	-0,010	-0,010	-0,016	-0,020
Свыше 50 до 120	-0,016	-0,016	-0,020	
Свыше 120 до 180		-0,020		
Свыше 180		-0,025		

Таблица П.2.2

**Предельные отклонения диаметров режущих зубьев с подъемами менее 0,02 мм и калибрующих зубьев**

Номинальный диаметр зубьев	Предельные отклонения для полей допусков отверстий		
	H7	H8	H9
До 10		-0,005	-0,008
Свыше 10 до 18	-0,005	-0,008	-0,010
Свыше 18 до 30			-0,012
Свыше 30 до 50	-0,007	-0,010	-0,016
Свыше 50 до 80	-0,008	-0,012	
Свыше 80 до 120	-0,010	-0,014	
Свыше 120 до 180		-0,016	-0,020
Свыше 180	-0,012		

Предельные отклонения ширины выкружек составляют  $\pm 0,5$  мм, ширины стружкоразделительных канавок –  $+0,5$  мм.

Допуски радиального биения относительно оси центров для режущих зубьев с подъемами по диаметру менее 0,02 мм и калибрующих зубьев принимаются следующими: при допуске на диаметр до 0,008 – 0,010 мм, при допуске свыше 0,008 – в пределах допусков на диаметр согласно табл. П.2.1.

Допуски радиального биения относительно оси центров для режущих зубьев с подъемами по диаметру свыше 0,02 мм хвостовиков и

направляющих принимаются из соотношения 0,004 мм на каждые 100 мм полной длины протяжки.

Предельные отклонения переднего угла составляют  $\left( \begin{smallmatrix} +2^\circ \\ -1^\circ \end{smallmatrix} \right)$ ; заднего угла режущих зубьев –  $\pm 30'$ ; калибрующих зубьев –  $\pm 15'$ .

Рекомендуемые параметры шероховатости поверхностей круглых протяжек приведены в табл. П.2.3.

Таблица П.2.3

### Шероховатость поверхностей круглых протяжек

Поверхность	Квалитет точности отверстия	
	<i>H7, H8</i>	<i>H9</i>
Задние поверхности всех типов зубьев, выполненных с ленточкой, и поверхности ленточек на режущих зубьях: передние поверхности зубьев	$R_z 1,6$	$R_z 3,2$
Задние поверхности калибрующих зубьев, выполненных без ленточки, и поверхности ленточек на калибрующих зубьях	$R_z 0,8$	$R_z 1,6$
Радиусные поверхности стружечных канавок, стружко-разделительных канавок и выкружек	$R_z 6,3$	
Поверхности передней и задней направляющих	$R_a 0,63$	
Посадочные поверхности цилиндрической части хвостовика, конической поверхности под кулачки	$R_a 1,25$	
Поверхности нерабочих торцов протяжки, нерабочей шейки и конуса между поверхностью хвостовика и передней направляющей	$R_a 5$	
Прочие поверхности	$R_a 2,5$	

Центровые отверстия протяжек должны выполняться по формам *B*, *R* или *T* (ГОСТ 14034–74\*). Протяжки диаметром менее 18 мм могут иметь центровые отверстия формы *A*.

Пример конструктивного оформления круглой протяжки с групповой схемой срезания припуска приведен в приложении 2 на рис. П.3.1.



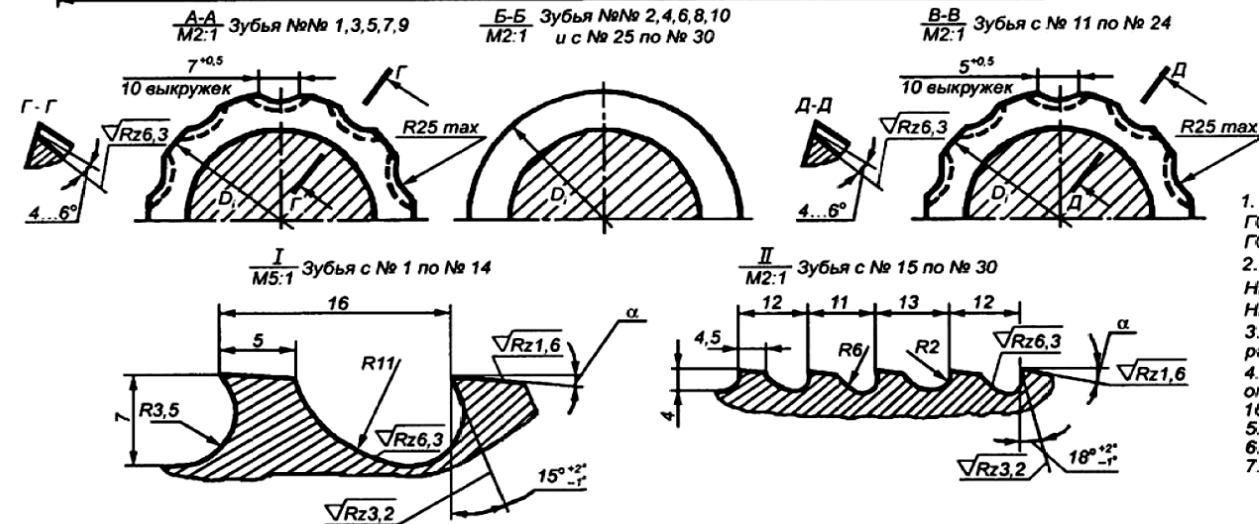
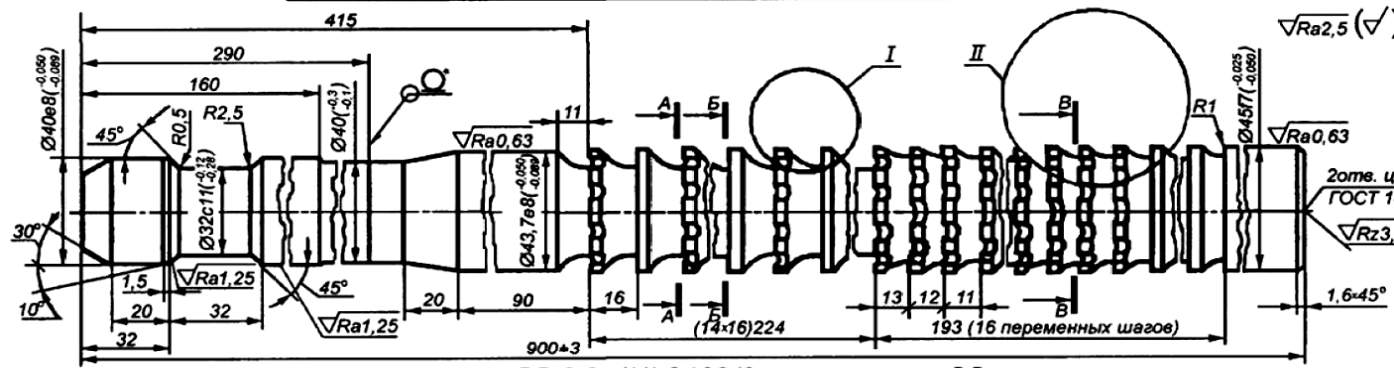
# Приложение 3

Задний угол $\alpha$	$3^{\circ}30'$										$2^{\circ}30'$					$1^{\circ}15'$														
Пред.откл., мм	-0,020										-0,016					-0,016														
Диаметр зубьев $D_i$ , мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номера зубьев	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Тип зубьев	Черновые и переходные										Чистовые					Калибрующие														

**Данные о изделии**

$\varnothing 43,7H12(^{+0,25})$   
 $40H12(^{+0,25})$   
 $\varnothing 45H9(^{-0,062})$   
 $\sqrt{Ra2,5}$

1. Сталь 40Х НВ 229...269
2. Усилие протягивания 125 кН
3. \* Размеры для справок



1. Материал рабочей части - сталь марки Р6М5 ГОСТ 19265-73, хвостовика - сталь марки 40Х ГОСТ 4543-71.
2. HRC, 63...66 зубьев и задней направляющей, HRC 62...65 - передней направляющей, HRC 44...53 замковой части хвостовика.
3. Неуказанные предельные отклонения размеров валов - по h14, остальных - по IT14/2.
4. Выкружки на зубьях №№ 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 относительно выкружек на зубьях №№ 9, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 расположить в шахматном порядке.
5. Маркировать:  $\varnothing 45H9$  Р6М5.
6. \* Сварка контактная стыковая оплавлением.
7. Остальные ТТ по ГОСТ 28442-90.

Рис. П.3.1. Пример конструктивного оформления круглой протяжки с групповой схемой резания припуска

## Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ФРЕЗ

Фрезы используют для обработки на фрезерных станках плоских и фасонных поверхностей: открытых, сплошных и прерывистых плоскостей, пазов, уступов, канавок, шлицев, щелей, торцов при разрезке и т. п. Основные представители фрез показаны на рис. 41.

Фрезы получили наименование по ряду частных признаков, к основным из которых можно отнести:

– конструктивные особенности – цилиндрические (рис. 41, *а, б*), торцовые (рис. 41, *в–д*), концевые (рис. 41, *е, ж*), шпоночные (рис. 41, *з*), дисковые двух- и трехсторонние (рис. 41, *и*), прорезные и отрезные (рис. 41, *к, л*), угловые (рис. 41, *м*) и фасонные (рис. 41, *и*);

– способ образования задней поверхности зуба – затылованные, направляющие задних поверхностей которых – в виде участков спирали Архимеда или окружности (рис. 41, *н*) и незатылованные, направляющие задних поверхностей которых – в виде отрезков прямых (рис. 41, *б–к*);

– метод крепления фрез на станке – концевые с коническим (К) и цилиндрическим (Ц) хвостовиками (рис. 41, *е–з*) и насадные фрезерные головки, имеющие цилиндрические (А) или конические базовые отверстия и торцовые (Т) крепежные поверхности (рис. 41, *а–д, и–н*), а также продольные или поперечные шпоночные пазы (П);

– конструкция – цельные, изготавливаемые из одного материала (рис. 41, *а, з, к, м, н*), составные неразъемные (сварные, напайные) (рис. 41, *е–з*) и сборные (рис. 41, *б, в, д, и, л*);

– инструментальный материал зубьев – из быстрорежущей стали, твердого сплава и сверхтвердых материалов и др. [1].

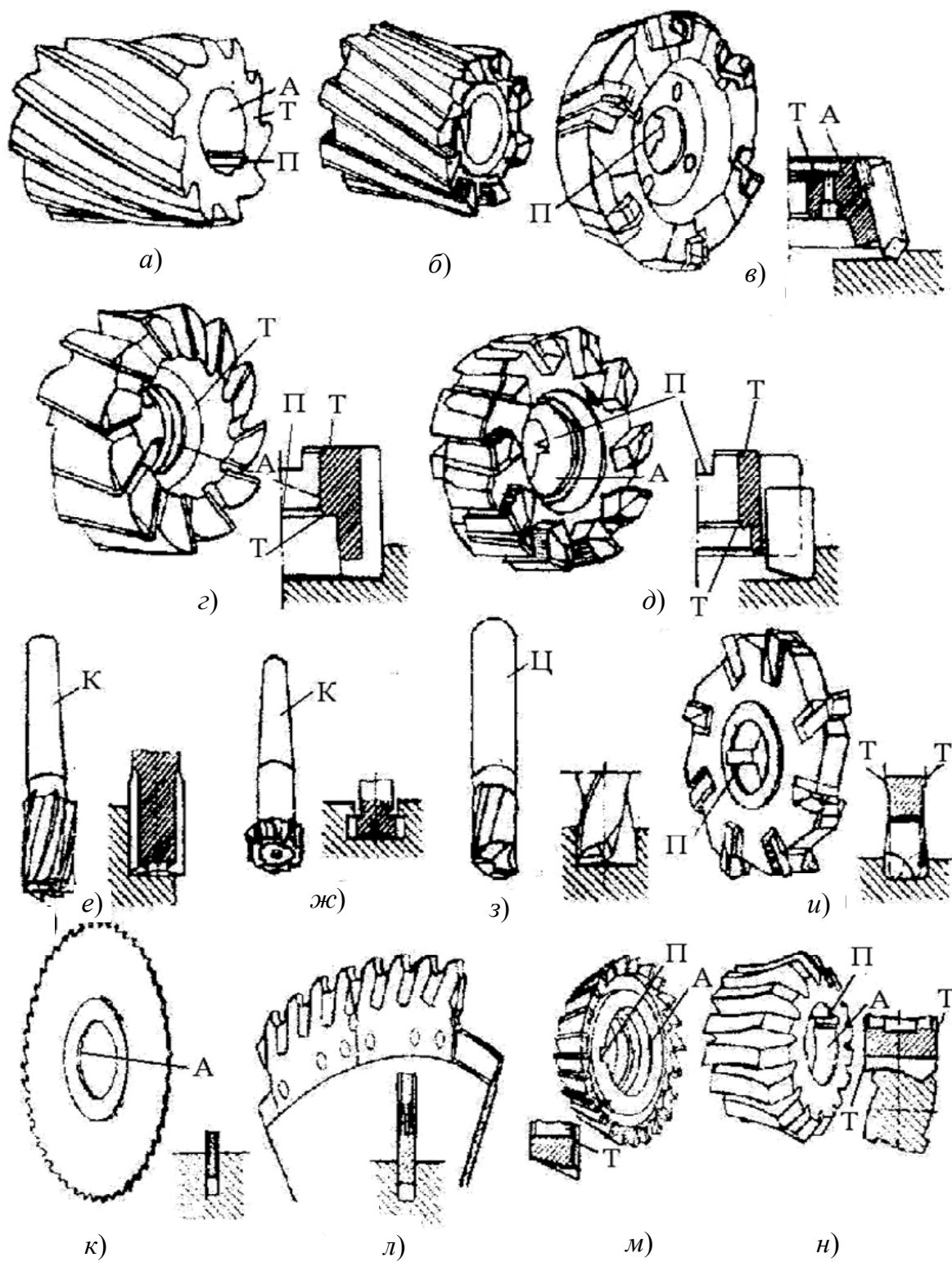


Рис. 41. Основные типы фрез

*Цель работы:* получение навыков анализа параметров фрез.

### Порядок выполнения работы

1. Получить исходные данные у преподавателя.
2. Изобразить возможные схемы обработки полученным инструментом и обозначить предельные значения геометрических параметров срезаемого слоя ( $B$  – ширину фрезерования;  $t$  – глубину резания;  $S_z$  – подачу на зуб) [1].
3. Определить наиболее рациональные марки материалов заготовок деталей, обрабатываемых полученным инструментом по данным табл. 14.

Таблица 14

#### Рекомендации по выбору марок инструментальных материалов

Вид обработки	Группа материала							Закаленные
	I-III	IV	V-VI	VII-VIII	IX-X	XI-XIII	XIV	
Черное фрезерование	ВК4 ВК8 ВК6	ВК6 ВК8	Т5К10 ТТ7К2 ВК8	Т5К10 Т14К8 ВК8 ТТ7К9 ТТ7К12 ТТ21К9 ТТ20К9А	Т5К12 Т14К8 ТТ7К12 ВК10-ОМ ВК15-ОМ	ВК 8 ВК10-ОМ ВК10ХОМ ВК15-ОМ ВК10ХС ТТ10К8Б	ВК 8 ВК15-ОМ ВК15ХОМ Т5К10	–
Получистовое и чистовое фрезерование	ВК6М ВК6	ВК6 ВК4 ВК6М ТТ8К6 ВОК-60 В3 КОМПОЗИТЫ 01,05 10,10Д	Т15К6 Т14К8 ТТ20К9 ТН20 КНТ16 ВОК-60 В3 КОМПОЗИТЫ 01,10 10Д	Т15К6 Т14К8 ТТ20К9 ВК 8 ТТ7К9 ТТ21К9 ТТ20К9Л	Т14К8 ТТ20К9 ВК6М ВК10М 6К8 КТС-2М	ВК 8 ВК10-ОМ ВК10ХОМ КТС-2М ТТ10К 8Б	Т14К8 ТТ20К9 ВК6М ВК10М ВОК-63 ВК10ХОМ	Композиты 0...10 силинит-Р картинит

В табл. 14 приведены условные обозначения групп материалов в зависимости от их обрабатываемости (см. табл. 15).

## Группирование материалов по обрабатываемости

Группа материала	Название материалов и основные их характеристики
I	Магниевые сплавы (черновая обработка может производиться со скоростями резания до 1350 м/мин) (МЛ5; МЛ10; МА5; МА1; МА2; МА8)
II	Алюминиевые сплавы (черновая обработка может производиться со скоростями до 600 м/мин твердосплавными инструментами и до 300 м/мин – инструментами из быстрорежущей стали) (Д1АМ; Д1Т; Д16 и др.; АД0; АД1 и др.; АЛ2 и др.; АМn; АМr; АВ-Т; АЛ; АК и др.)
III	Медь и медные сплавы (черновая обработка может производиться с $v_{\max} \leq 700$ м/мин твердосплавными инструментами и до 160 м/мин – из быстрорежущей стали) (БрАЖ9-4; БрАЖН10-4-4 и др.; ЛЖНЦ59-1-1 и др.; БрОС10-10 и др.; М1–М4 и др.)
IV	Чугуны (Сч10-35; Кч30-6 и др.; ХМ; 4Н15Д7)
V и VI	Углеродистые и легированные стали (Ст0–Ст6; Ст10–Ст60; А12–А50; А65; А70; У7–У13; 15Х–50Х; ШХ15; 25Н–40Н; 15Г–50Г2; 15ХГ–45ХГСЛ; 12ХН3–37ХН3А; 35ХМА–40ХН2ВА; 60С2А; 65С2ВА; ХВГ)
VII	Теплоустойчивые стали (12Х2МФ–34ХН3М; 20Х3МВФ и др.)
VIII-X	Коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные деформируемые стали (03Х12Н10МТ–09Х16Н4Б; 12Х15Н9Ю и др.)
XI	Жаропрочные и жаростойкие деформируемые сплавы на никелевой основе (ХН28МАБ и др.)
XII	Жаростойкие литейные сплавы на никелевой основе (ВНЛ-1 и др.)
XIII	Сплавы на титановой основе (ВТ1 и др.)
XIV	Высокопрочные стали ( $\sigma_b$ 1600 МПа) (28Х3СНМВФА и др.)

4. Произвести анализ геометрических параметров зуба инструмента. Рекомендуемые геометрические параметры для различных материалов приведены в табл. 16–19.

5. Произвести измерение углов фрез.

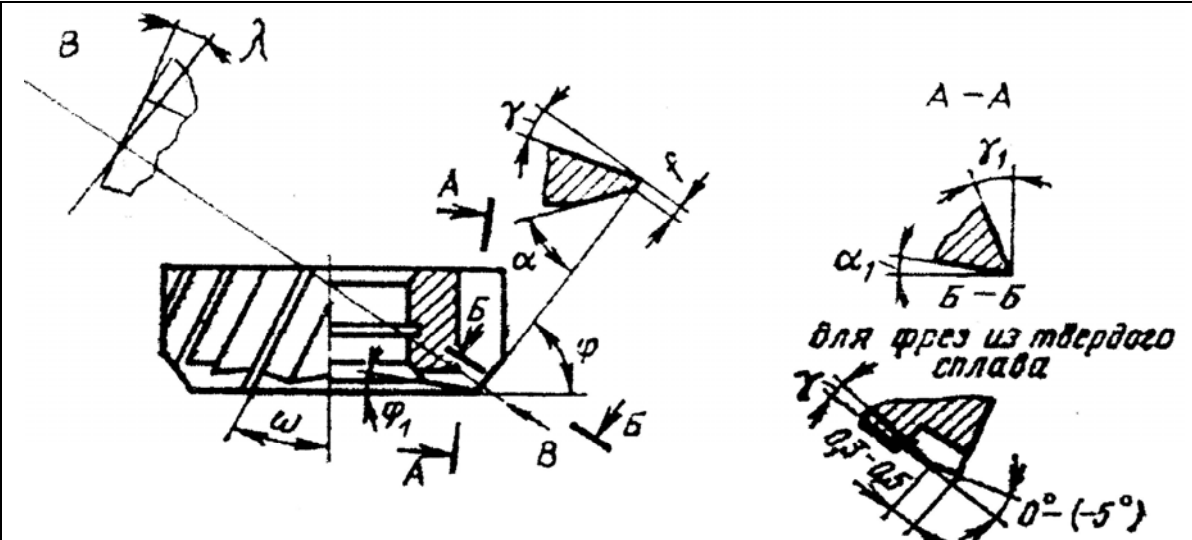
Для измерения углов  $\gamma$  и  $\alpha$  зуба фрезы необходимо:

- а) установить фрезу на универсальном штативе;
- б) выбрать точку на режущей кромке;
- в) повернуть фрезу так, чтобы эта точка расположилась в одной плоскости с точками оси фрезы (рис. 42);

г) произвести измерения переднего  $\gamma$  и заднего  $\alpha$  углов в выбранной точке (кроме универсального угломера на стойке можно использовать другие способы измерения, см. приложение 1).

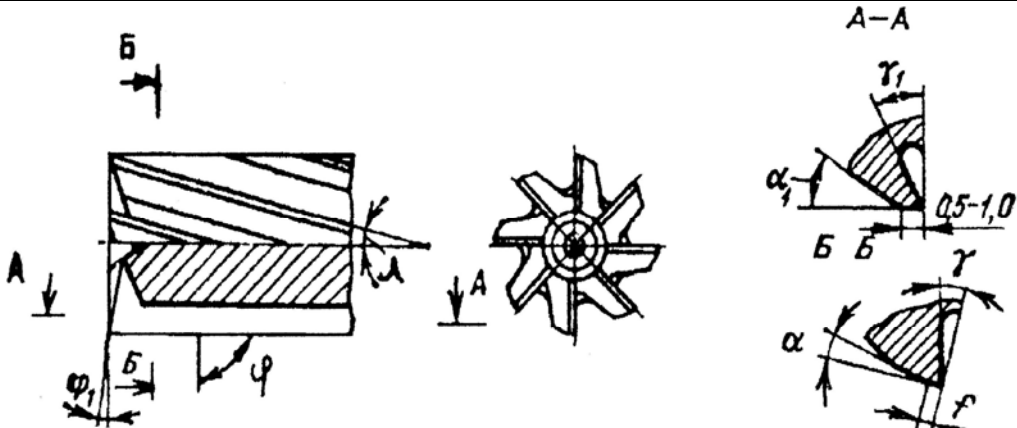
Таблица 16

**Значения углов зубьев торцовых фрез**



Группа материала	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\gamma_1^\circ$	$\alpha_1^\circ$	$\omega^\circ$	$\phi^\circ$	$\phi_1^\circ$	$f, \text{мм}$
Фрезы из быстрорежущих сталей								
I-II	16-25	12-16	16-18	8-10	15-30	45-60	2-3	0,5-1,0
I-V	10-15	12-16	10-12	8	10-15	45-90	1-2	1,0-2,5
V-X	10-14	12-15	10-14	8-10	10-15	45-60	2-3	1,0-1,5
XI-XII	6-15	10-15	6-15	5-12	10-20	40-45	5-7	1,0-1,5
XIII	10-12	10-12	10-12	8-10	10-15	45-60	2-3	1,0-1,5
Фрезы с пластинами из твердого сплава								
I-III	10-15	12-20	10-12	8-10	10-15	45-90	5-15	1,0-1,5
IV-X	5-8	12-16	5-8	8-10	10-15	45-60	10	1,5-2,0
XI-XII	5-8	15	5-8	8-10	10-15	45	10-15	1,0-1,5
XIII	5-(-5)	14-16	5	8-10	10-15	45-60	12	1,0-1,5
XIV	-5-(-10)	15	-5-(-10)	8-10	10-15	45	10	1,0-1,5

## Геометрические параметры режущих зубьев концевых фрез



Группа материала	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\gamma_1^\circ$	$\alpha_1^\circ$	$\omega^\circ$	$\varphi^\circ$	$\varphi_1^\circ$	$f, \text{мм}$
Фрезы из быстрорежущих сталей								
I–III	15–25	15–20	8–10	8–12	30–45		0	
IV	10–15	14		6	20–30		3	
V–IX	5–10	12–16	0–5	6–8	30–45	90	2–3	0,5–1,0
X–XI	5–12	8–13		6–12	20–30		0–10	
XIII	5–10	14–16		6–12	35–40		2–3	
Фрезы с пластинами из твердых сплавов								
IV	5	10–15		4	5–10		2–5	
V–IX	5–8	15–20					3–5	
XII	3–5	15–18	3–5	6–8	40	90	3–5	0,5–0,8
XIII	5–8	15–20					3–5	
XIV	0–(-5)	13–15					1,5–3	

Для измерения углов  $\lambda$ ,  $\lambda_1$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  необходимо:

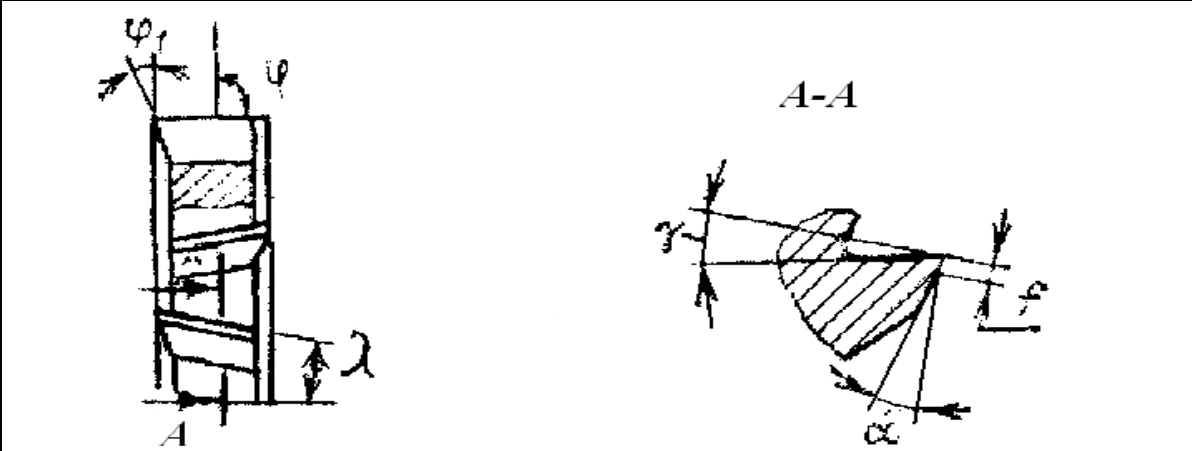
а) установить фрезу на штативе строго горизонтально, т. е. так, чтобы две точки оси фрезы были на одном уровне;

б) проверить, чтобы вершина зуба фрезы располагалась в одной плоскости с ее осью, т. е. лежала в горизонтально расположенной основной плоскости;

в) установить универсальный угломер, закрепленный на стойке так, чтобы его измерительная плоскость совпадала с плоскостью резания, и произвести измерение углов  $\lambda$  и  $\lambda_1$ ;

г) установить вершину зуба фрезы так, чтобы она находилась в вертикально расположенной основной плоскости, и произвести измерение углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$ .

## Геометрические параметры режущих зубьев дисковых фрез



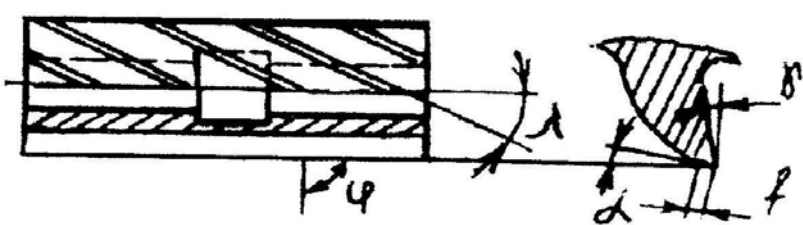
Группа материала	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\lambda$	$\varphi^\circ$	$\varphi_1^\circ$	$f, \text{мм}$
Фрезы из быстрорежущих сталей						
I–III	12	15	0–10		2	0,5–1,0
IV		16–20	10–15		3	0,5–1,0
V–X		12–16	0–10	90	2–3	1,0–2,0
XI–XII	10–15	10–15	10–15		4–6	0,5–1,0
XIII		10–15	15–20		2–3	1,0–1,5
Фрезы с пластинами из твердых сплавов						
IV	5	10–15		90	2–5	
V–X		12–16	5–10		3–5	1,5–2,0
XI–XII	0–5	12–15			3–5	
XIII		12–15			0–5	

По результатам измерений построить графики изменения углов (см. рис. 43) для главной и вспомогательной режущих кромок.

Следует уточнить рекомендуемые обрабатываемые материалы в п. 3 на основе измеренных углов.



**Геометрические параметры режущих зубьев  
периферийных цилиндрических фрез**

Номер группы				
	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\lambda$	$f, \text{ мм}$
V-X	8-12	12-16	45	
XI-XII	8-15	15-20	30-45	0,8-1,0
XIII	10-15	12-15	35-40	

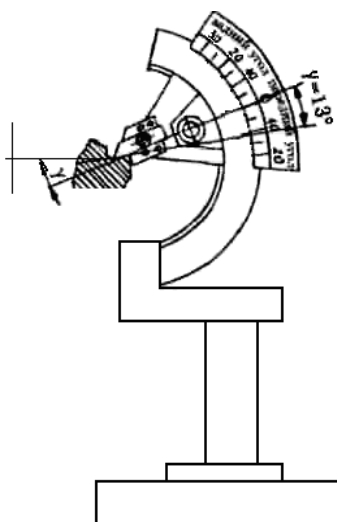


Рис. 42. Схема измерения углов фрезы

**6.** Произвести анализ конструктивных параметров фрез по:

**6.1.** Силе, допустимой прочностью зуба (для дисковых, цилиндрических, концевых):

$$P'_z \leq \frac{[\sigma] L h^2}{6H},$$

где  $[\sigma]$  – допустимые напряжения для конструкционной стали – 200...300 МПа; для быстрорежущей стали – 330...350 МПа;  $L$  – длина режущей части фрезы, мм;  $h$  – толщина зуба в опасном сечении на расстоянии  $H$  от режущей кромки.

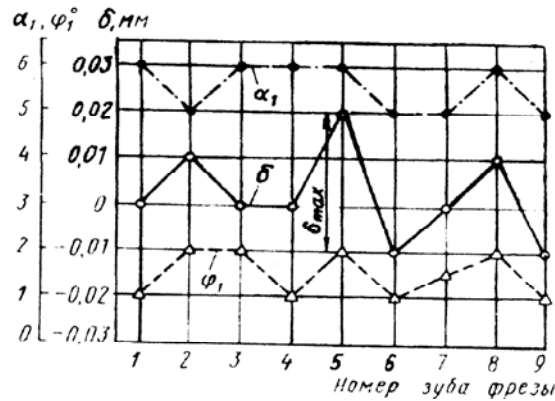


Рис. 43. Пример выполнения графиков изменения углов

**6.2.** Силе, допустимой прочностью ( $P_{\Pi}$ ) и жесткостью ( $P_{\text{ж}}$ ) соединительной части:

– для инструмента консольного крепления:

$$P'_{\Pi} \leq \frac{0,1[\sigma]d^3}{l}; \quad P'_{\text{ж}} \leq \frac{0,15E[f]d^4}{l^3},$$

где  $[\sigma] = 200 \dots 300$  МПа;  $d$  – диаметр соединительной части инструмента, мм;  $l$  – расстояние от точки приложения силы (середины режущей части) до опасного сечения, мм;  $E$  – модуль упругости материала  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа;  $[f] = \frac{T}{4}$ ;  $T$  – допуск на размер детали, мм;

– для крепления в шпиндель и серьгу станка:

$$P''_{\Pi} \leq b \frac{[\sigma]d^3 1,6}{3L_{\text{оп}}}; \quad P'''_{\text{ж}} \leq \frac{2,4E[f]d^4}{L_{\text{оп}}^3},$$

где  $L_{\text{оп}}$  – расстояние от торца шпинделя до серьги, мм.

**7.** Определить степень недогрузки (перегрузки) фрез по следующему выражению:

$$\xi = \frac{P_{\text{min}}}{P_z},$$

где  $P_{\text{min}}$  – минимальное из расчетных значений по п. 6;  $P_z$  – рекомендуемая сила резания по [2]:

$$P_z = \frac{10C_1 t^X S^Y B^n Z}{D^N n^N} K_{\text{MP}}.$$

**8.** Произвести анализ числа зубьев.

**8.1.** Определить фактическое число зубьев  $Z_{\phi}$ .

**8.2.** Определить расчетное эмпирическое число зубьев:

$$Z'_p = m\sqrt{D},$$

где  $m$  – коэффициент, зависящий от условий работы и конструкции фрезы;  $D$  – диаметр фрезы.

Значения коэффициентов  $m$  для некоторых типов фрез следующие:

– цилиндрических цельных с:

• крупным зубом – 1,1;

• мелким зубом – 1,8;

– цилиндрических сборных с крупным зубом – 0,8;

– торцовых цельных с:

• крупным зубом – 1,1;

• мелким зубом – 1,8;

– торцовых сборных – 1,1...1,2;

– дисковых с мелким зубом – 2.

**8.3.** Рассчитать число зубьев из условия работы фрезы:

$$Z''_p = \frac{0,2D}{\sqrt{t_{\max} S_{Z \max}}} \text{ – для цилиндрических, концевых, дисковых и}$$

фасонных фрез;

$$Z''_p = \frac{0,6D}{\sqrt{t_{\max} S_{Z \max}}} \text{ – для торцевых фрез,}$$

где  $t_{\max}$  и  $S_{z \max}$  – соответственно, максимальные глубина резания и подача, мм/зуб [2].

**8.4.** Рассчитать число зубьев из условия равномерности фрезерования:

$$Z'''_p = \frac{\pi K D \operatorname{ctg} \lambda}{B},$$

где  $K$  – целое число 2 или 3;  $\lambda$  – угол наклона зубьев;  $B$  – ширина фрезерования.

Выбрав максимальное из расчетных по пп. 8.1–8.4, сравнить с фактическим на фрезе и дать заключение о рациональности числа зубьев.

**9.** Определить форму зуба и его параметры.

Форма зуба в значительной степени влияет на работоспособность фрезы и должна удовлетворять следующим требованиям:

а) обеспечивать достаточную прочность и массивность зуба, которая улучшает теплоотвод и снижает интенсивность изнашивания зубьев;

б) образует межзубную впадину большого объема для размещения стружки и хорошего ее отвода;

в) впадина не должна иметь острых углов и резких переходов во избежание трещин после закалки;

г) допускать достаточное количество переточек.

По форме затылочной поверхности зубья подразделяют на затылованные и незатылованные.

Незатылованные подразделяются на одноугловую (см. рис. 44, а), которая наиболее простая и технологичная, но менее прочная. Формируется она за один проход, а задний угол образуется при заточке по ширине ленточки  $f$ . Такая форма рекомендуется на торцевых зубьях цельных фрез и периферийных зубьях цилиндрических фрез малого диаметра, а также для фасонных фрез. Канавка зуба ограничивается углом впадины  $\theta$ , а зуб – углом  $\eta$ . Обычно  $\eta = 45 \dots 50^\circ$  и выбирается из условия прочности зуба. Угол впадины  $\theta = \eta + \varepsilon + \gamma$ , где  $\varepsilon = 360^\circ / z$ ;  $z$  – число зубьев фрезы;  $\gamma$  – передний угол. С целью сокращения номенклатуры канавочных фрез принимают  $\theta = 45 \dots 100^\circ$  через каждые  $5^\circ$ .

Для фрез с винтовыми зубьями углы  $\eta$ ,  $\theta$  и  $\varepsilon$  рассматриваются в плоскости, перпендикулярной к главным режущим кромкам, и в этом случае

$$\theta = \eta + \frac{360 \cos^2 \lambda}{Z} + \gamma.$$

Зная  $\theta$  и  $\varepsilon$ , необходимо проверить высоту зуба, сравнивая ее с максимальным из расчетных значений, при этом должно выполняться условие  $H_\phi \leq H_p$ :

$$H'_p = \frac{D}{2} [(1 - \cos \varepsilon) + \sin \varepsilon \operatorname{ctg} \theta]; \quad (1)$$

$$H''_p = \frac{K'D}{Z}, \quad (2)$$

где  $K'$  – эмпирический коэффициент высоты зуба, равный:

– для концевых фрез – 0,9...1,2;

– торцевых и периферийных фрез с крупными зубьями – 1,2...1,5;

- с мелкими зубьями – 0,8...0,9;
- для дисковых двух- и трехсторонних фрез – 1,4...1,8.

Более прочной является форма затылочной поверхности, у которой направляющая представляет собой ломаную линию (см. рис. 44, б). При этом обычно  $\theta_1 = 60$  или  $65^\circ$ . Такие зубья отличаются большей трудоемкостью изготовления и рекомендуются для цилиндрических и торцовых фрез.

Параболическая форма зуба (см. рис. 44, в) является равнопрочной на изгиб для всех сечений зуба и обеспечивает достаточно большой объем стружечных канавок, несмотря на то, что парабола часто заменяется близкой к ней окружностью. Кроме того, эта форма чувствительна к точности установки нарезного и заточного инструмента.

Такая форма рекомендуются для периферийных зубьев концевых фрез. Для уменьшения чувствительности погрешности параболической формы на значения задних углов применяются зубья с выступающей ленточкой (см. рис. 44, г).

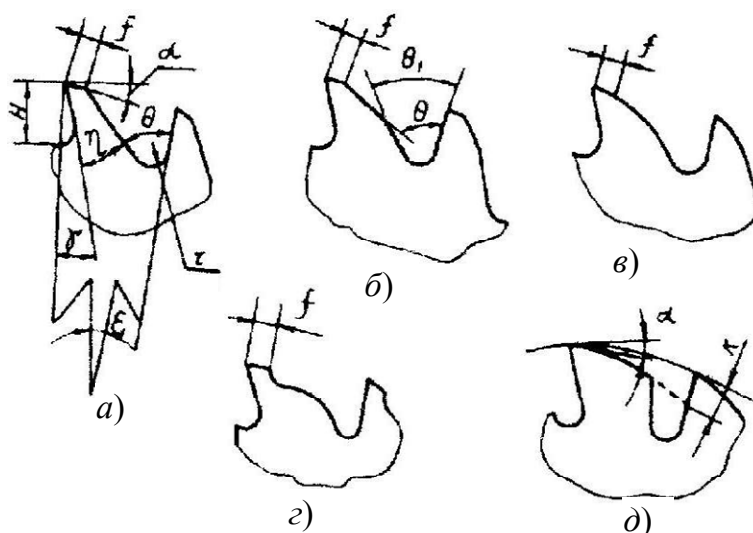


Рис. 44. Формы зубьев фрез

Спинка зуба затылованных фрез (см. рис. 44, д) имеет обычно направляющую в виде участка спирали Архимеда с коэффициентом затылования:

$$K = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}},$$

где  $\alpha_{\text{в}}$  – задний угол на максимальном диаметре  $D$  фрезы.

Использование затылованных зубьев обеспечивает сохранность размеров их профиля при переточке зубьев по передней поверхности.

Спинка зуба и передняя поверхность сопрягаются по радиусу  $r$  (рис. 44, *a*), который в значительной степени снижает концентрацию напряжений в этой области и влияет на условия размещения стружки в канавке фрезы. По результатам измерения проверить условие:

$$r_{\Phi} \geq \sqrt{S_Z t},$$

где  $r_{\Phi}$  – измеренный радиус сопряжения;  $S_Z$  и  $t$  – соответственно, подача на зуб и глубина резания по [2].

**10.** Изобразить наиболее рациональную схему расположения фрезы в инструментальном блоке (см. рис. 45).

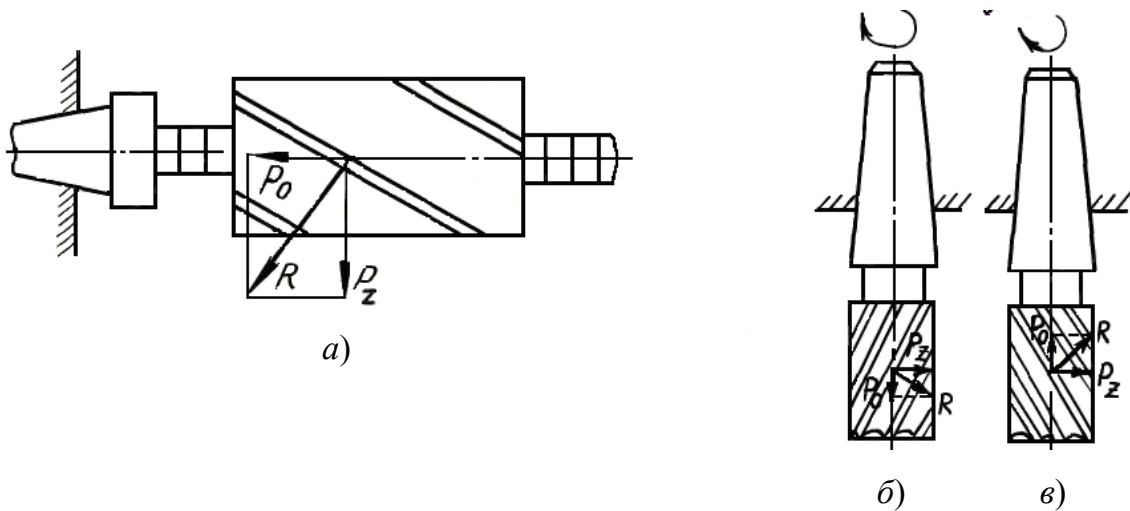


Рис. 45. Схемы расположения фрез

Как уже отмечалось, наиболее эффективны фрезы с наклонными или винтовыми зубьями. Однако в этом случае возникает осевая сила  $P_0$ , направление которой зависит от направления вращения фрезы и наклона зубьев. Применение фрез с углом  $\lambda = 45 \dots 60^\circ$  требует установки на оправке двух фрез с разным направлением стружечных канавок. В этом случае осевые составляющие компенсируют друг друга, и фрезы нужно устанавливать так, чтобы силы  $P_0$  сжимали их между собой.

Для концевых фрез направление винтовых канавок должно совпадать с направлением вращения, хотя при этом осевая составляющая сил резания будет стремиться вытянуть фрезу из шпинделя (см. рис. 45, б). В противном случае передние углы фрезы будут отрицательными, и затрудняется выход стружки, которая направляется в сторону паза и может привести к поломке фрезы.

**11.** Определить остаточный период стойкости.

Для большинства фрез лимитирующим является изнашивание их зубьев по задней поверхности. Это объясняется тем, что фрезы срезают стружки, имеющие толщину не более 0,3 мм (чаще – не более 0,1 мм). Допустимый износ устанавливается в пределах, приведенных в табл. 20.

Остаточное число периодов стойкости фрезы

$$K_T = \left( \frac{M}{q} \right) + 1,$$

где  $M$  – величина допустимого стачивания зуба;  $q$  – величина стачивания зуба при одной переточке.

Таблица 20

Значения допустимого износа фрез

Вид и тип фрезы	Материал режущей части фрезы	Износ $\mu_3$ , мм, при обработке	
		стали	чугуна
Цилиндрическая	Быстрорежущие стали (P6M3, P6M5)	0,4–0,6	0,5–0,8
Торцовая		1,5–2,0	1,5–2,0
Дисковая		0,4–0,6	0,4–0,6
Концевая		0,3–0,5	0,3–0,5
Цилиндрическая	Твердые сплавы (Т5К10, Т15К6, ВК8)	0,5–0,6	0,6–0,7
Торцовая		1,0–1,2	1,5–2,0
Дисковая		1,0–1,2	1,0–1,2
Концевая		0,3–0,5	0,3–0,5

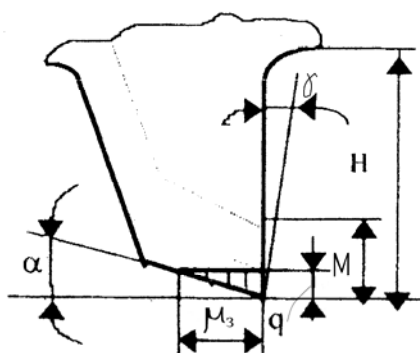


Рис. 46. Схема расположения предельных профилей зуба

Допустимая величина стачивания зуба  $M$  зависит от конструкции фрезы:

– для цельных фрез (рис. 46):

$$M = (0,3 - 0,5)H,$$

где  $H$  – высота зуба новой фрезы из соотношений (1) и (2);

– для цилиндрических сборных фрез (рис. 47, а):

$$M = 0,3L,$$

где  $L$  – глубина паза под нож. У цилиндрических сборных фрез ножи за счет их перестановки на шаг рифлений имеют возможность изменять вылет  $H$  в радиальном направлении;

– для трехсторонних фрез с механическим креплением ножей и радиальными рифлениями (рис. 47, б):

$$M_T = (0,3 - 0,5)B,$$

где  $B$  – толщина корпуса фрезы;

– для торцовых сборных фрез:

$$M' = 0,5b \text{ (по цилиндру)} \text{ и } M'' = 0,5l \text{ (по торцу)},$$

где  $b$  и  $l$  – соответственно, ширина и длина твердосплавной пластинки на ноже.

Величина допускаемого стачивания у этих фрез зависит от размеров твердосплавных пластинок ножей (рис. 47, в).

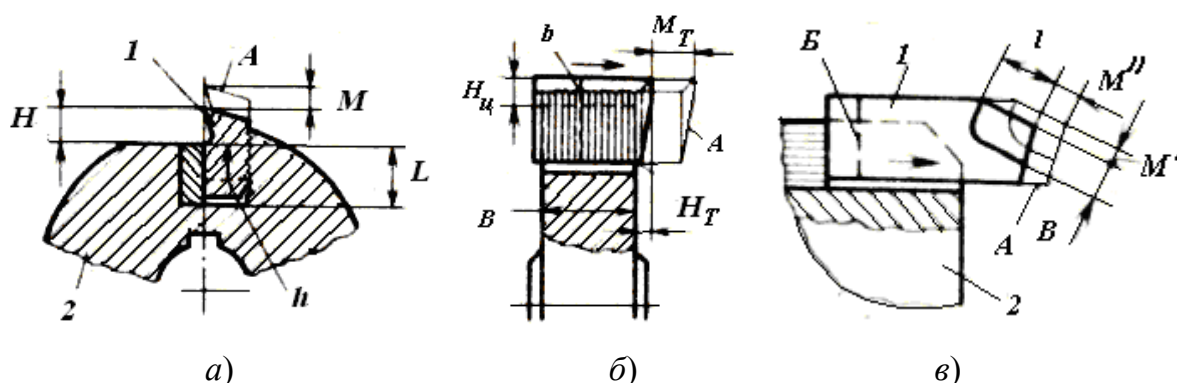


Рис. 47. Схема определения допустимого стачивания зубьев сборных фрез

Величина стачивания при заточке фрез (рис. 46):

$$q = \mu_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 - 0,2),$$

где  $\mu_3$  – допустимый износ зуба по задней поверхности, мм;  $\alpha$  – задний угол (главный или вспомогательный).

**12.** Измерить радиальное, торцовое биение зубьев фрез (рис. 48) и другие требуемые параметры в соответствии с данными табл. П.1.1 (приложение 2).



Биение режущих кромок и другие параметры не должны превышать значений, приведенных в табл. П.1.1. Сравнивая измеренные значения с табличными, необходимо сделать вывод о годности фрезы без дополнительной заточки.

**13.** Изобразить схемы заточки фрез.

Настроить универсально-заточный станок для заточки фрез и выбрать параметры абразивного инструмента [3], [4].

Выполнить рабочие чертежи (эскизы) инструментов.

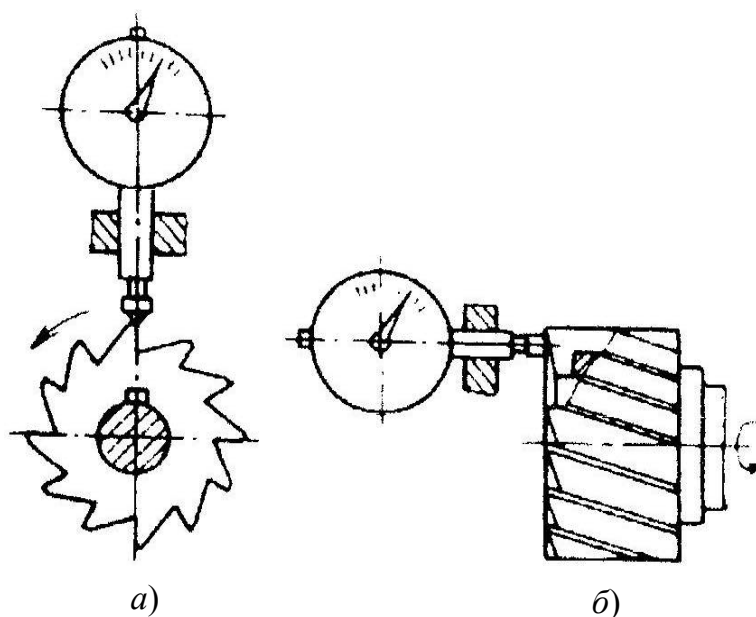


Рис. 48. Схемы измерения радиального и торцового биений фрез

### Структура отчета

1. Схемы обработки с параметрами срезаемого слоя.
2. Основные зависимости, расчеты и значения измеренных параметров.
3. Сводная таблица анализа параметров.
4. Графики изменения углов.
5. Схемы заточки фрез.
6. Марки абразивного инструмента для заточки и доводки фрез.
7. Рабочие чертежи (эскизы) инструментов.

### Контрольные вопросы

1. Раскройте классификацию фрез.
2. Приведите классификацию материалов по обрабатываемости.

3. Изобразите эскиз зуба фрезы с геометрическими параметрами.
4. Приведите зависимости для анализа конструктивных параметров фрез.
5. Назовите основные технические требования для фрез.

### **Литература**

1. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
3. Наладка универсально-заточного станка : практ. рук. к лаборатор. работе / М. И. Михайлов [и др.]. – Гомель : ГПИ, 1997. – 22 с.
4. Попов, С. А. Заточка и доводка режущего инструмента / С. А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.

## Приложения к лабораторной работе № 4

### Приложение 1

Углы зубьев фрезы можно измерить с помощью инструментального угломера (рис. П.1.1). Угломер состоит из дуги 1, на которой имеется шкала, разделенная рисками, соответствующими числу зубьев  $z$  измеряемой фрезы. Сектор 2 передвигается по дуге 1 и фиксируется в требуемом положении винтом 3. Сектор снабжен градусными шкалами, по которым производится отсчет угловых величин. К сектору 2 прикреплена пластинка 4 с мерительной плоскостью.

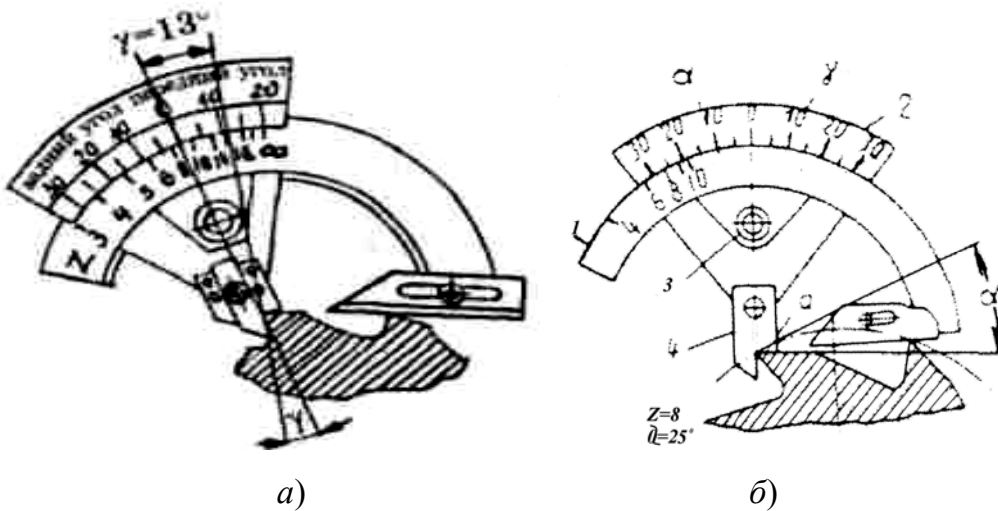


Рис. П.1.1. Схема измерения углов

Для измерения переднего угла  $\gamma$  угломер накладывают на вершину двух смежных зубьев и сектор 2 поворачивают до совмещения мерительной плоскости пластинки 4 с передней поверхностью зуба фрезы и закрепляют винтом 3 (рис. П.1.1, а). Значение переднего угла  $\gamma$  отсчитывается на градусной шкале против риски, соответствующей числу зубьев измеряемой фрезы. На рис. П.1.1 показано измерение переднего угла фрезы, имеющей 8 зубьев. Угол равен  $13^\circ$ .

Для измерения заднего угла  $\alpha$  настройка угломера тождественна настройке для измерения переднего угла. Сектор 2 поворачивают до совмещения мерительной плоскости пластинки 4 с задней поверхностью зуба и закрепляют винтом 3. Значение заднего угла  $\alpha$  отсчитывается на градусной шкале против риски, соответствующей числу зубьев измеряемой фрезы. На рис. П.1.1 показано измерение заднего угла фрезы, имеющей 8 зубьев. Задний угол  $\alpha$  равен  $25^\circ$ .

Определить углы зуба фрезы можно косвенными измерениями с помощью штангенрейсмаса (рис. П.1.2).

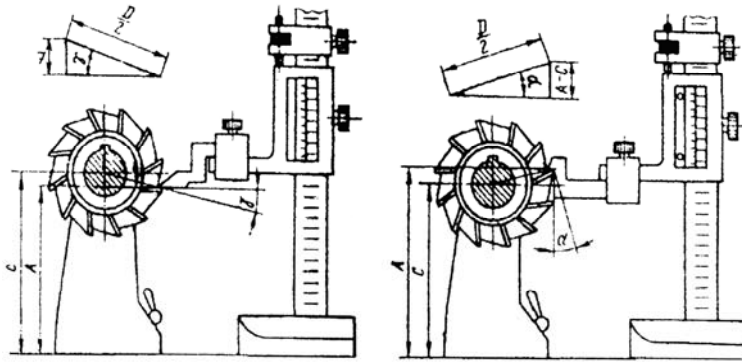


Рис. П.1.2. Определение углов с помощью штангенрейсмаса

Контролируемую фрезу устанавливают в центрах или в универсальном штативе, имеющими высоту  $C$  относительно опорной поверхности. Совмещая переднюю или заднюю поверхность зуба с измерительной плоскостью ножки штангенрейсмаса, определяют размеры  $A$  и рассчитывают соответствующие углы:

– передний угол  $\gamma$  по формуле

$$\gamma = \arcsin \frac{2(C - A)}{D};$$

– задний угол  $\alpha$  по формуле

$$\alpha = \arcsin \frac{2(A - C)}{D},$$

где  $D$  – диаметр фрезы в точке определения углов.

Углы фрезы можно также измерить с помощью маятникового угломера (рис. П.1.3). Фреза предварительно устанавливается и закрепляется на специальном приспособлении (штативе) или на проверочной плите. Совмещая ребро измерительной линейки с соответствующей кромкой, можно измерить задние и передние углы, угол наклона режущих кромок и углы в шкале.

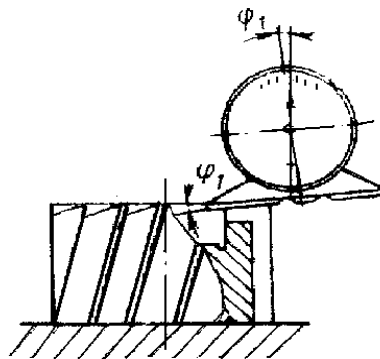


Рис. П.1.3. Схема измерения углов маятниковым угломером

Приложение 2

Таблица П.2.1

Допустимые значения биения зубьев и других параметров фрез

Тип фрезы	Диаметр фрезы, мм	Радиальное биение двух зубьев, мм		Торцовое биение, мм	Допуски на размеры	Биение опорных торцев	Биение вспомогательных кромок	Отклонение формы	Прочие требования
		Смежных	Противоположных						
Периферийная цилиндрическая	От 40 до 100	0,03	0,06	—	$D - h15$ $d - H7$ $L - h16$ $d - H7$	$\leq 0,02$ мм		/O/ на $L$ $\leq 0,02$ для $D \leq 50$ , /O/ $\leq 0,03$ для $D \leq 50$ мм	
Торцовая насадная со вставными ножами, оснащенными твердыми сплавами	До 160	0,04	0,08	0,05					Допуск отклонения от перпендикулярности опорного торца в сторону поднутрения относительно оси 0,04
	Свыше 160 до 250	0,05	0,10	0,06					
	Свыше 250 до 400	0,06	0,12	0,08					
	Свыше 400 до 630	0,08	0,12	0,10					
Торцовая насадная	До 80	0,03	0,05	0,03	Наружный диаметр $D - js16$	0,02	До 0,03	$<$ по $D$ 0,04 на $L$	—
	Свыше 80	0,035	0,06	0,04	Общая длина $L - h14$ Посадочное отверстие $d - H7$		До 0,04		

Продолжение табл. П.2.1

Тип фрезы	Диаметр фрезы, мм	Радиальное биение двух зубьев, мм		Торцовое биение, мм	Биение вспомогательных кромок	Биение опорных торцев	Допуски на размеры	Отклонение формы	Прочие требования
		Смежных	Противоположных						
Трехсторонняя дисковая и пазовая цельные	До 63	0,025	0,04	0,03	До 0,03		Наружный диаметр $D-j s 16$ Общая длина $L-h 14$ Посадочное отверстие $d-H 7$	< по $D$ 0,04 на $L$	Отклонение от параллельности торцев не более допуска на ширину
	Свыше 63	0,030	0,05	0,04	До 0,04				
86 Дисковые двух и трехсторонние со вставными ножами с твердым сплавом	До 200	0,04	0,08	0,05	-	-	$L-j s 16$ $d-H 7$	< по $D$ 0,04 на $L$	Отклонение от перпендикулярности торцев ступицы относительно оси $\leq 0,02$ мм
	Свыше 200	0,05	0,10	0,06					
Торцовая и трехсторонняя насадная со вставными ножами из быстрорежущей стали	До 100	0,05	0,10	0,04	-	0,02	$L-h 16$ $d-H 7$	< по $D$ 0,04 на $L$	
	Свыше 100 до 200	0,06	0,12	0,05					
	Свыше 200	0,08	0,15	0,06					
Концевая цельная	До 16	0,03	0,06	0,03	-	-	$D - j s 14$ $d_{xв} - h 8$ $L - \pm \frac{IT 16}{2}$ конус $A T 8$	< по $D$ 0,02 на $L$ рабочей части	
Свыше 16	0,03	0,06	0,04						

Тип фрезы	Диаметр фрезы, мм	Радиальное биение двух зубьев, мм		Торцовое биение, мм	Допуски на размеры	Биение опорных торцев	Биение вспомогательных кромок	Отклонение формы	Прочие требования
		Смежных	Противоположных						
Шпоночные с пластинами из твердого сплава	До 18 Свыше 18	0,02		0,03 0,04	$D - e8$ ; $d_{XB} - h8$ $L - js 16$ конус Морзе AT8	—	—	обратная < по $D$ 0,02 на $l$ рабочей части	
Прорезная и отрезная	От 20 до 40 Свыше 40 до 125 Свыше 125 до 250 Свыше 250 до 315	0,05 0,06 0,08 0,10	0,08 0,10 0,12 0,16	По ГОСТ 2679-82	$D - h6$ $d - H7$ По $B$ для ширины + 0,08 < 0,5 мм — + 0,04 + 0,11 > 0,5 ≤ 0,8 — + 0,04 + 0,17 > 0,8 ≤ 3 — + 0,07 + 0,19 > 3 — + 0,07	—	—	—	—

## Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЬБООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Детали с резьбой имеют широкое распространение в промышленности. Существует ряд способов образования резьб. Каждый способ предусматривает использование определенного вида инструмента и имеет определенную область применения. Выбор способа образования резьбы и вида резьбообразующего инструмента зависит от требуемого качества резьбы, типа производства и наличного оборудования [1].

В современном машиностроении резьбы образуются следующими методами:

1) методом лезвийной обработки: резцами, гребенками, фрезами, метчиками, плашками и резьбонарезными головками;

2) методом абразивной обработки: одно- и многониточными шлифовальными инструментами;

3) методом пластической деформации: резьбонакатными плашками, роликами, головками и раскатниками.

*Резьбонарезной резец* является наиболее универсальным инструментом для нарезания резьбы на токарно-винторезных станках. По своей конструкции он является фасонным резцом (рис. 49, а). Нарезание резьбы производится с продольным перемещением, равным шагу нарезаемой резьбы за один оборот заготовки. Нарезание резьб с помощью резцов осуществляется за несколько проходов. Чтобы повысить производительность труда при рассматриваемой схеме обработки, применяют резьбонарезные гребенки. *Резьбонарезная гребенка* представляет собой несколько объединенных в единой конструкции резьбонарезных резцов. Чтобы распределить нагрузку между несколькими зубьями, на гребенке создается режущая (заборная) часть с углом  $\varphi_3 = 25...30^\circ$ . Резьбонарезные гребенки могут быть призматическими и дисковыми (рис. 49, б). *Резьбонарезные плашки и метчики* предназначены для нарезания наружных и внутренних резьб и представляют собой гребенчатые инструменты (рис. 49, в, г). *Резьбонарезные головки* предназначены для нарезания внутренних и наружных резьб и представляют собой как бы сборные конструкции метчиков и плашек, гребенки которых могут перемещаться в радиальном направлении и раскрываться на величину, достаточную для того, чтобы после окончания нарезания резьбы головку не свинчивать, а просто снять с заготовки в осевом направлении.



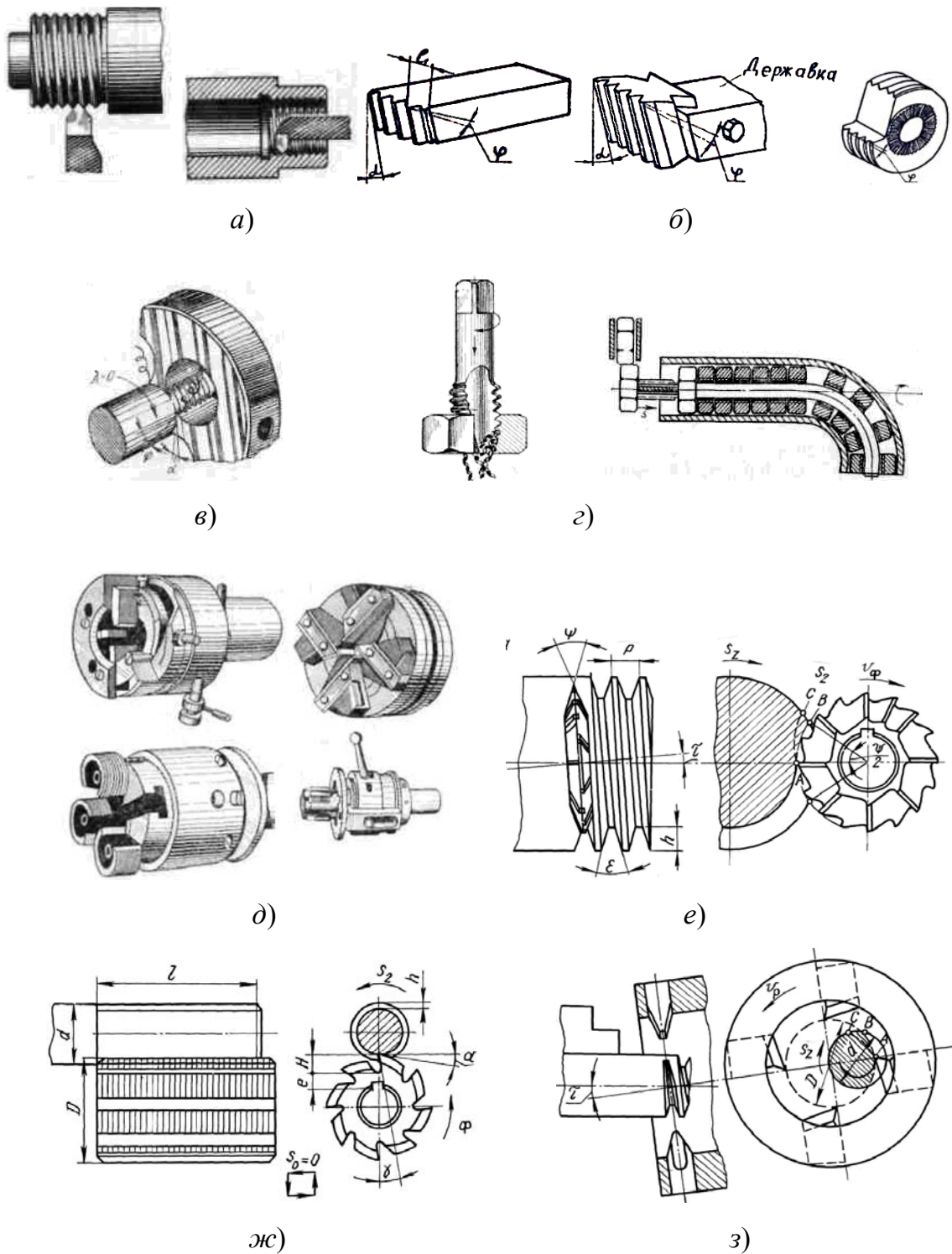


Рис. 49. Схемы нарезания резьбы

Резьбонарезные головки подразделяются:

- а) по назначению: вращающиеся и невращающиеся;
- б) по конструкции: с плоскими радиально установленными гребенками, с плоскими тангенциально установленными гребенками и круглыми радиально установленными гребенками (рис. 49, д).

Вращающиеся головки применяются на токарных автоматах и полуавтоматах, а также на сверлильных станках. Невращающиеся головки применяются на токарно-револьверных станках.

*Резьбонарезные фрезы* получили значительное распространение для фрезерования наружных и внутренних резьб. Схема резьбофрезерования включает быстрое вращение инструмента (фрезы) вокруг ее оси (главное движение) и медленное винтовое движение подачи заготовки.

При резьбофрезеровании применяют следующие виды инструментов:

- а) дисковые резьбонарезные наружные фрезы;
- б) гребенчатые фрезы;
- в) дисковые резьбонарезные внутренние фрезы (вращающиеся резцовые головки).

*Дисковые резьбонарезные фрезы* являются разновидностью трехсторонних угловых фрез с фасонным профилем, т. е. профиль зубьев фрезы соответствует профилю впадины нарезаемой резьбы (рис. 49, е).

*Гребенчатая резьбонарезная фреза* представляет собой как бы набор дисковых резьбонарезных фрез. Ось гребенчатой фрезы устанавливается параллельно оси заготовки, и фрезерование ведется сразу по всей длине нарезаемой фрезы (рис. 49, ж). Заготовка медленно вращается и согласованно перемещается в осевом направлении на 1 шаг резьбы за 1 оборот (движения круговой и осевой подачи). В начале работы фреза перемещается в радиальном направлении до врезания на полную высоту профиля нарезаемой резьбы при одновременном вращении и осевом перемещении заготовки. Полная резьба на заготовке образуется за 1,25 ее оборота. Четверть оборота необходима для врезания. Длина фрезы должна быть на 2...3 шага больше длины нарезаемой резьбы.

*Вращающаяся резцовая головка (внутренняя фреза)* представляет собой сборный инструмент, в кольцевом корпусе которого закреплены резьбовые резцы (рис. 49, з). Заготовка вращается в центрах токарно-винторезного станка (круговая подача). Резцовая головка расположена со смещением относительно оси заготовки и повернута на угол, равный углу подъема резьбы.

*Цель работы:*

1. Изучить конструкции и геометрические параметры резьбообразующих инструментов.
2. Приобрести навыки пользования измерительными инструментами при измерении геометрических параметров резьбообразующих инструментов.
3. Освоить методику затачивания резьбообразующих инструментов.

## Порядок выполнения работы

1. Получить исходные данные у преподавателя.

2. Определить тип метчика.

*Метчик* предназначен для нарезания внутренней резьбы на станках, а также вручную (рис. 50). Метчик можно представить в виде закаленного винта, превращенного в режущий инструмент путем прорезания продольных стружечных канавок, срезанием резьбы винта на конус и затылованием резьбы для создания положительных задних углов. Метчик состоит из рабочей части и хвостовика (рис. 50, *n*). Рабочая часть включает режущую (заборную) и калибрующую части метчика. Существуют следующие типы метчиков:

1) машинно-ручные (ГОСТ 3266–71) диаметром от 1 до 48 мм – для метрических и от  $\frac{1}{4}$  до 2" – для дюймовых резьб;

2) машинные мелкогаечные – для нарезания резьбы на станках (ГОСТ 8859–74) диаметром от 0,25 до 1 мм;

3) ручные или слесарные – для нарезания резьбы вручную (ГОСТ 9522–60); таких же диаметров, как и машинно-ручные;

4) гаечные – для нарезания резьбы в гайках с прямым хвостовиком (ГОСТ 1604–71) и с изогнутым хвостовиком (ГОСТ 6951–71);

5) конические – для нарезания обычно конических и конических трубных резьб (ГОСТ 6227–71);

6) плашечные и маточные – для нарезания и калибрования резьбы в плашках;

7) специальные – для калибрования резьбы после термообработки, насадные, с укороченными канавками и др.

3. Определить схему срезания припуска метчиком.

Форма режущей части метчика зависит от принятой схемы срезания припуска: профильной, генераторной и комбинированной, одинарной или групповой (см. табл. 8) [2].

Метчики с *профильной схемой срезания* имеют полнопрофильную резьбу, образованную на конусе режущей части, т. е. на режущей части – резьба коническая с углом уклона  $\varphi_3$  (рис. 51, *a*).

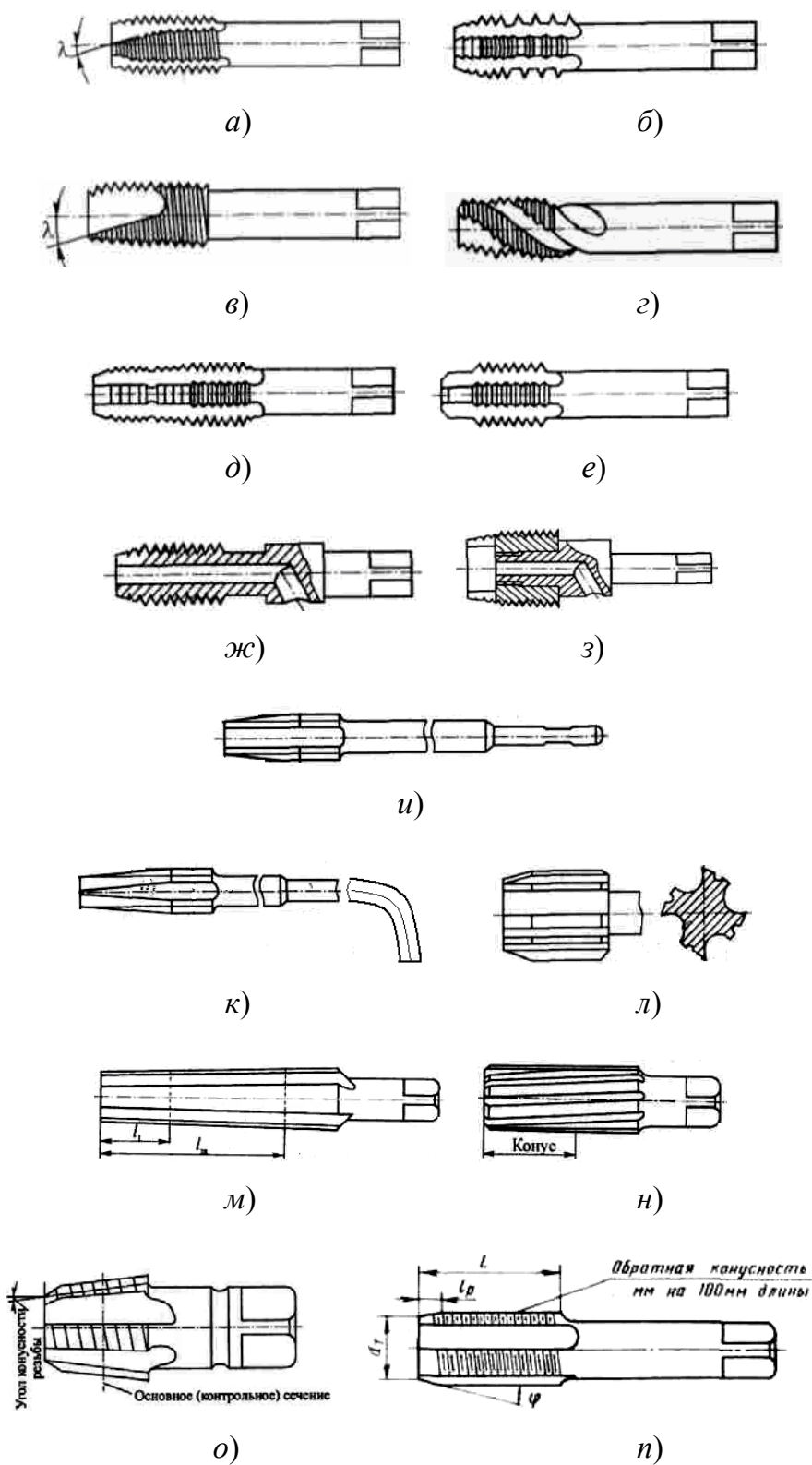


Рис. 50. Эскизы метчиков: а – слесарный (ручной); б – с шахматным расположением зубьев; в – с укороченной канавкой; г – с винтовыми канавками; д – комбинированный; е – с передней направляющей; ж – с центральным отверстием; з – сборный; и – гаечный; к – для станков автоматов; л – режуще-выглаживающий; м – плащечный; н – маточный; о – конический; п – параметры метчика

Каждый зуб режущей части метчика режет по всему профилю. По профильной схеме резания работают метчики для нарезания конических резьб.

У метчиков с *генераторной схемой срезания* (рис. 51, б) режущая часть образована срезанием резьбы на конус с углом  $\varphi_3$ . Каждый зуб режущей части метчика срезает металл тонкими слоями толщиной  $a$ . Метчики с генераторной схемой срезания получили широкое распространение при нарезании цилиндрических резьб, так как они просты в изготовлении и работают в более благоприятных условиях.

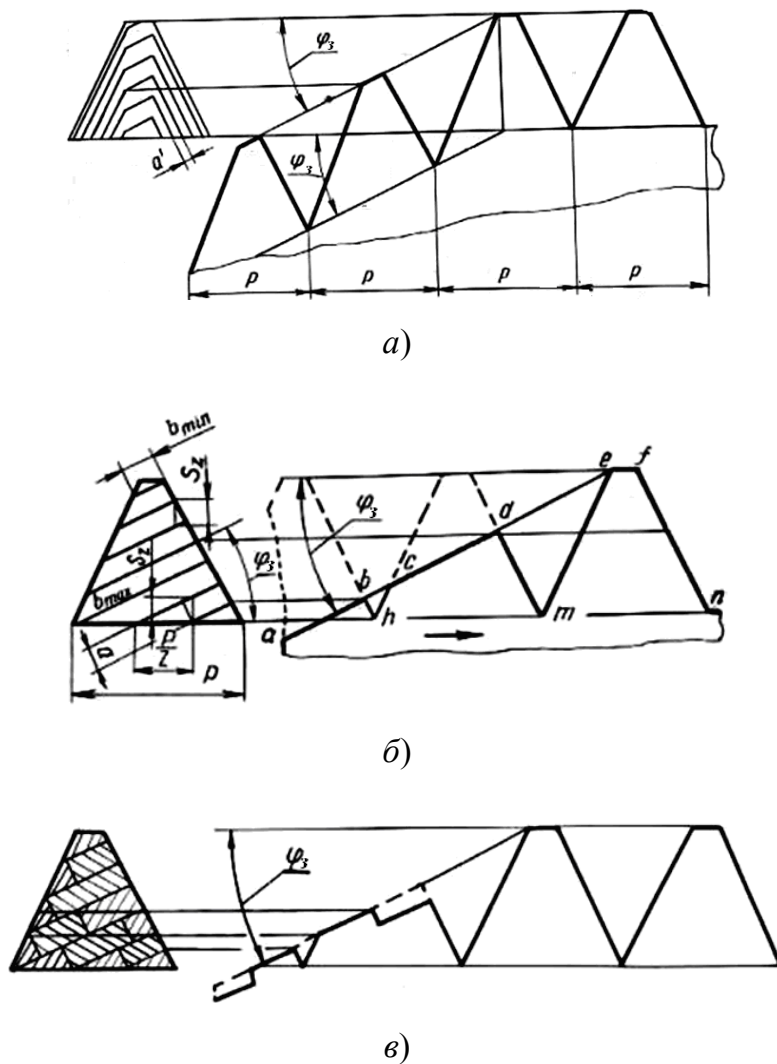


Рис. 51. Схемы срезания припуска метчиками:  
 а – профильная; б – генераторная; в – генераторная групповая

Генераторную схему срезания можно видоизменить так, чтобы каждый режущий зуб метчика срезал слой металла не по всей ширине впадины резьбы, а только на половине ширины, но с удвоенной толщиной (рис. 51, в). Такую схему срезания называют групповой (*про-*





Для уменьшения усилий при резбонарезании, повышения качества получаемой резьбы, а также при нарезании резьбы в глухих отверстиях применяют комплекты метчиков, состоящие из двух или трех штук.

Известны 4 схемы распределения нагрузки на метчики в комплекте. Первая схема (профильная) (рис. 53, а) предусматривает уменьшение как наружных, так и средних диаметров резьбы предварительных метчиков по сравнению с чистовым.

Обычно черновые метчики комплекта удаляют максимальное количество металла (до 80...90 %) и на долю чистового метчика отводится сравнительно небольшая работа по зачистке и калиброванию резьбы. Чистовой метчик снимает металл по всему профилю резьбы, что позволяет получить резьбу высокого качества, а предварительные метчики не нуждаются в точном исполнении. Эта схема получила наибольшее распространение при нарезании метрических резьб.

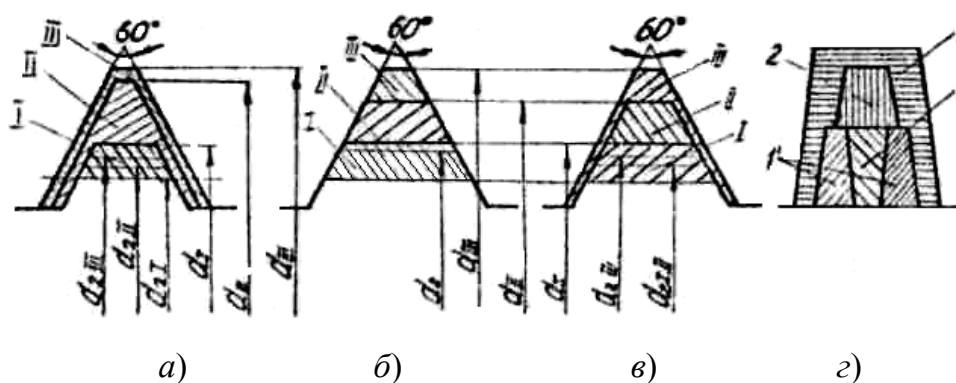


Рис. 53. Схемы срезания припуска в комплекте метчиков

Вторая схема (генераторная) (рис. 53, б) предусматривает сохранение неизменным среднего диаметра резьбы метчиков. Припуск между метчиками распределяется только за счет понижения наружного диаметра резьбы. Резьба метчиков, входящих в один комплект, шлифуется с одинаковыми размерами. Применяется эта схема при нарезании трапецеидальной резьбы, которая выполняется с достаточно широкими допусками и поэтому возможно нарезание резьбы без калибрования по боковым сторонам.

Третья схема (рис. 53, в) является комбинированной. Здесь черновой и промежуточный метчики имеют припуск только по наружному диаметру, а чистовой метчик калибрует резьбу по всему профилю. Такая схема применяется при нарезании резьб с жесткими допусками.

Четвертая схема (рис. 53, з) применяется при нарезании трапециевидальных резьб, когда важно обеспечить самозатягивание метчика в начальный период его работы. Первый метчик снабжен двойной режущей (заборной) частью. Первой режущей (заборной) частью метчика нарезается двухзаходная резьба, а второй – срезается «лишняя» нитка резьбы и создается профиль впадины с припуском на последующую обработку. Подобная схема срезания металла обеспечивает лучшие условия для самозатягивания за счет уменьшения ширины вершинной кромки зубьев. Второй и третий метчики комплекта имеют обычное конструктивное оформление рабочей части. Они снабжаются передней направляющей частью с резьбой, размеры которой соответствуют профилю, образованному предыдущим метчиком.

Произвести измерения параметров профиля резьбы метчика на калибрующей части (рис. 54).

На основании выполненных измерений делают расчет распределения нагрузки между метчиками в комплекте.

Нагрузка на каждый метчик в комплекте определяется вырезаемой им частью площади обрабатываемого профиля резьбы, считая от диаметра отверстия  $d_c$ , просверленного под резьбу (рис. 55).

Площадь рабочего профиля резьбы каждого метчика комплекта

$$S = \frac{l_1 + l_2}{2} \frac{d - d_c}{2},$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – ширина профиля резьбы метчика, соответственно, на диаметрах  $d$  и  $d_c$ ;  $d_c$  – диаметр отверстия под нарезание резьбы.

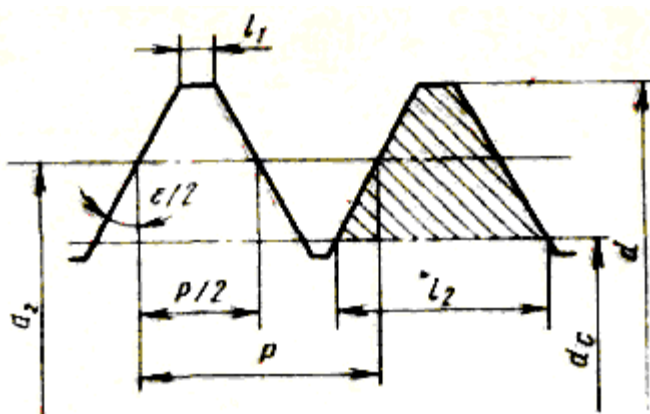


Рис. 54. Схема определения нагрузки метчиков

Диаметр отверстия под резьбу  $d_c$  выбирают по табл. 21.



Диаметр отверстия под резьбу  $d_c$ 

$d$ , мм	$P$ , мм	Диаметр отверстия под резьбу $d_c$ , мм, со степенью точности		Диаметр сверла $d_{св}$ , мм
		4H5H; 5H; 6H; 5H6H; 7H	6G; 7G	
8	1,25	6,70	6,75	6,80
9		7,70	7,75	7,80
10	1,5	8,43	8,50	8,50
11		9,43	9,50	9,50
12	1,75	10,20	10,25	10,20
14	2	11,90	11,95	12,00
16		13,90	13,95	14,00
18	2,5	15,35	15,40	15,50
20		17,35	17,40	17,50
22		19,35	19,40	19,50
24	3	20,85	20,90	21,00

Ширина вершины резьбы

$$l_1 = \frac{P}{2} - 2(d - d_2) \operatorname{tg} \epsilon / 2.$$

Ширина основания профиля резьбы

$$l_2 = \frac{P}{2} + 2(d_2 - d_c) \operatorname{tg} \epsilon / 2.$$

Распределение нагрузки между метчиками комплекта определяют следующим образом:

– для черного метчика:

$$\frac{S_{\text{черн}}}{S_{\text{чист}}} 100 \%;$$

– для среднего метчика:

$$\frac{S_{\text{сред}} - S_{\text{черн}}}{S_{\text{чист}}} 100 \%;$$

– для чистового метчика:

$$\frac{S_{\text{чист}} - S_{\text{сред}}}{S_{\text{чист}}} 100 \%,$$

где  $S_{\text{черн}}$ ,  $S_{\text{сред}}$ ,  $S_{\text{чист}}$  – площадь рабочего профиля резьбы черного, среднего и чистового метчиков.

Полученные значения нагрузок сравнивают с их рекомендуемым распределением, приведенным в табл. 22.

Таблица 22

Значения распределения нагрузки в комплекте

Метчик в комплекте	Распределение нагрузки, %, в комплектах из метчиков	
	Из трех	Из двух
Черновой	56–60	75
Средний	28–30	–
Чистовой	16–10	25

5. Рассчитать толщину среза, снимаемого одной режущей кромкой метчика (рис. 55). Толщину среза  $a_z$  измеряют в направлении перпендикулярном к оси метчика.

Толщина снимаемой стружки на всей длине режущей части метчика одинакова:

$$a_z = (P / z) \operatorname{tg} \varphi_3.$$

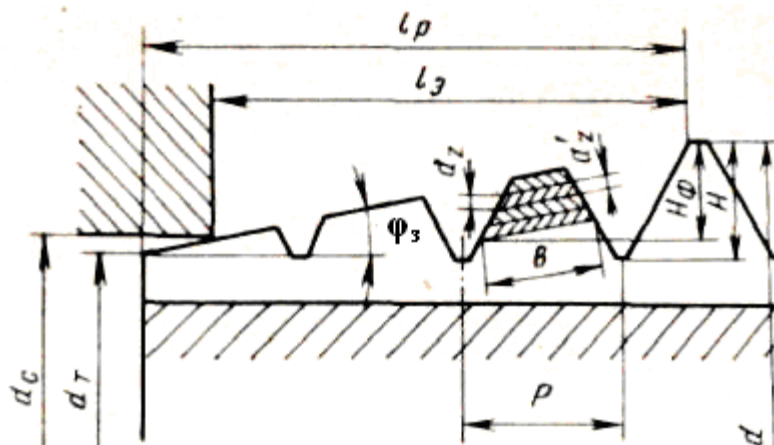


Рис. 55. Схема определения нагрузки метчика

6. Произвести измерение углов метчика.

Рабочая часть выполняет основную работу по образованию профиля резьбы. Она образуется срезанием резьбы исходного винта на конус с углом  $\varphi_3$  (угол заборного конуса). Это делается с целью распространения работы резания по всей длине режущей части.

Калибрующая часть служит для зачистки и окончательной калибровки нарезаемой резьбы, для направления метчика в отверстия, а также в качестве резерва для восстановления режущей части при переточках.

Хвостовик необходим для закрепления метчика в патроне станка или воротке и для передачи крутящего момента, для этого на нем выполняется квадрат, лыски, шпоночные продольные канавки и т. п. Чтобы можно было нарезать резьбу «напроход», диаметр хвостовика делается меньше внутреннего диаметра резьбы не менее чем на 0,2 мм. Для мелкогабаритных метчиков диаметр хвостовика делают больше наружного диаметра резьбы.

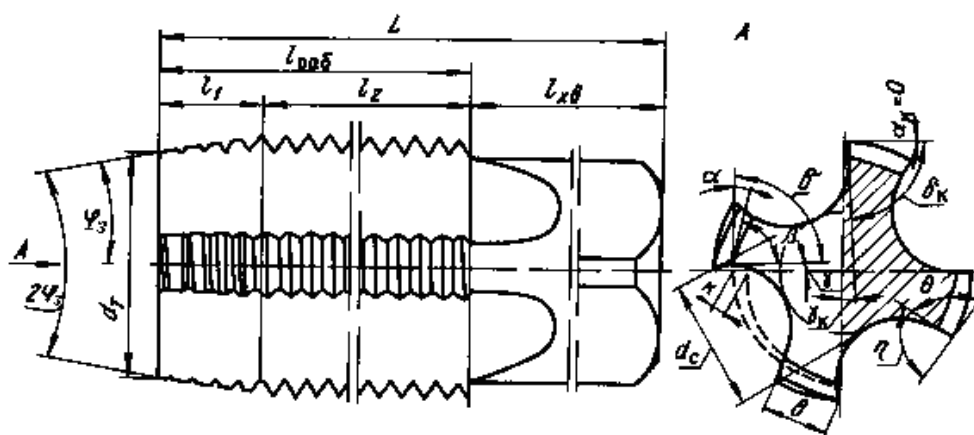


Рис. 56. Элементы конструкции метчика

К элементам, определяющим конструкцию метчика, относятся: режущие гребенки, снабженные резьбой; сердцевина метчика и стружечные канавки.

Режущая гребенка имеет переднюю и заднюю поверхности и соответственно передний угол  $\gamma$  и задний угол  $\alpha$ .

Измерить передний и задний углы и определить обрабатываемый материал исходя из их допустимых значений. Для обработки хрупких материалов (серый чугун, бронза, твердая сталь)  $\gamma = 0...5^\circ$ ;  $\alpha = 4...7^\circ$ , для обработки материалов средней твердости (конструкционная сталь, латуни Л59, Л62)  $\gamma = 8...10^\circ$ ;  $\alpha = 5...6^\circ$  для обработки материалов хорошей обрабатываемости (автоматные и малоуглеродистые стали, латунь Л68)  $\gamma = 10...15^\circ$ ;  $\alpha = 6...10^\circ$  для обработки алюминиевых и магниевых сплавов  $\gamma = 15...30^\circ$ ;  $\alpha = 6...8^\circ$  для обработки сталей 2Х13 и 1Х12Н2ВМФ  $\gamma = 7...10^\circ$ ;  $\alpha = 7...10^\circ$  для обработки сталей Х18 и Х15Н9Ю (1Х21Н5Т)  $\gamma = 5...8^\circ$ ;  $\alpha = 8...12^\circ$ . С увеличением угла  $\gamma$  шероховатость меньше, особенно при обработке пластичных материалов.

Задний угол на вершинных кромках обеспечивается путем затылования режущей части по наружному диаметру. Шлифованные метчики затылуются не только по вершинным кромкам, но и по профилю резьбы.

Величина угла режущей части  $\varphi_3$  оказывает большое влияние на стойкость метчика: чем меньше  $\varphi_3$ , тем выше стойкость. Однако величина угла  $\varphi$  ограничивается конструкцией заготовки: если при нарезании сквозных резьб  $\varphi_3 = 12...15^\circ$ , то в глухих отверстиях  $\varphi_3 = 30...45^\circ$ . Кроме того, с уменьшением угла  $\varphi_3$  увеличивается длина режущей части (заборного конуса), т. е. увеличивается расход инструментального материала, а также увеличивается время на врезание метчика в заготовку и снижается производительность обработки.

Резьба калибрующей части метчиков выполняется с обратной конусностью: (0,05...0,12 мм на 100 мм длины), что приводит к уменьшению сил трения и снижает разбивание нарезаемой резьбы. Ту же цель преследует затылование калибрующей части метчика по профилю (по боковым сторонам) резьбы для образования небольших задних углов (до  $20'$ ). Длина калибрующей части метчиков выбирается в пределах 5...12 витков. При переточках ее длина уменьшается, однако должна составлять не менее 0,5 диаметра нарезаемой резьбы.

Угол наклона стружечных канавок  $\omega$  оказывает влияние на направление перемещения стружки. При левом наклоне канавок стружка выходит вперед, что важно при нарезании резьбы в сквозных отверстиях. При правом наклоне канавок стружка отводится назад, что необходимо при нарезании резьб в глухих отверстиях. Основная масса выпускаемых метчиков имеет прямые канавки ( $\omega = 0$ ).

При измерении длины рабочей и режущей частей метчика пользуются штангенциркулем; наружный диаметр измеряют микрометром или штангенциркулем; шаг резьбы – резьбомером или же штангенциркулем измеряют длину  $n$  шагов резьбы и полученное значение делят на  $n$ . Угол заборного конуса метчика измеряют универсальным угломером, а угол подъема стружечных канавок – получением отпечатка на бумаге путем прокатывания метчика с небольшим усилием.

Для измерения переднего угла  $\gamma$  метчик устанавливается в центрах (рис. 57, а). Точка режущей кромки, в которой производится измерение угла  $\gamma$ , выставляется на высоте  $h$  линий центров метчика с помощью регулируемой опоры, подводимой под один из его зубьев.

Задний угол вычисляется по результатам измерения величины затылования по следующей формуле:

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \frac{180K}{\pi R_x \varepsilon},$$

где  $\alpha_x$  – величина заднего угла в рассматриваемой точке режущего лезвия, °;  $K$  – величина спада затылка на угле поворота  $\varepsilon$  метчика, мм;  $R_x$  – расстояние от оси метчика до точки  $X$  лезвия, мм.

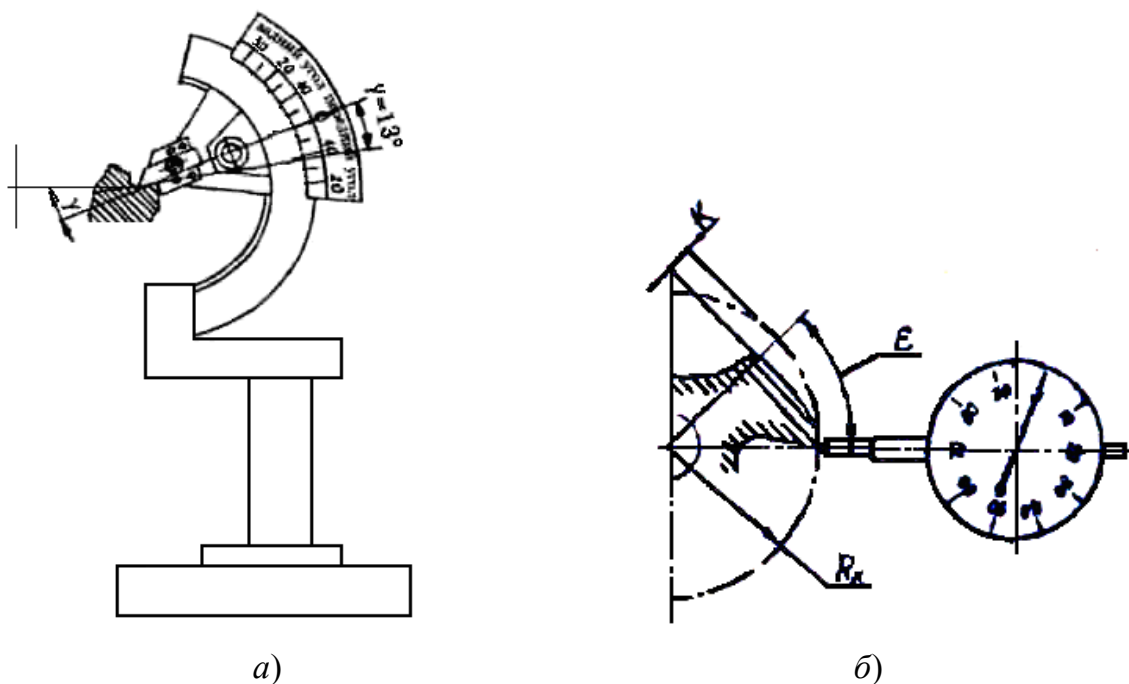


Рис. 57. Схемы измерения переднего угла метчика (а) и величины затылования задних поверхностей метчика (б)

Для измерения величины спада затылка метчик устанавливается в (гнезде) патроне делительной головки и поворачивается на угол  $\varepsilon$  (рис. 57, б). Величина  $K$  отсчитывается по индикатору, ножка которого контактирует с затылованной поверхностью метчика в радиальном направлении.

#### 7. Определить класс точности метчика.

Метчики для метрической резьбы изготовляют классов точности 1–4. В зависимости от степени точности устанавливают допуски на наружный, средний и внутренний диаметры резьбы метчика, шаг и половину угла профиля резьбы (рис. 58), (табл. 23).

Рекомендуемые классы точности метчиков

Резьба детали		Класс (степень) точности резьбы метчика
Тип резьбы	Допуск резьбы	
Метрическая с натягом	2H, 4C, 4D, 5C, 5D	1
Метрическая с посадкой скольжения	4H, 5H	1
	6H	2
	7H, 8H	3; 4
Метрическая с зазором	4G, 5G	2
	6G	3
Метрическая под металлопокрытие	4H, 5H	2
	5H, 6H	2
Трубная, серия G	A	A2, A3
	B	B1
Трубная, серия R	–	A1
Дюймовая	–	C, D
Трапецеидальная	7H	H5
	8H	H6

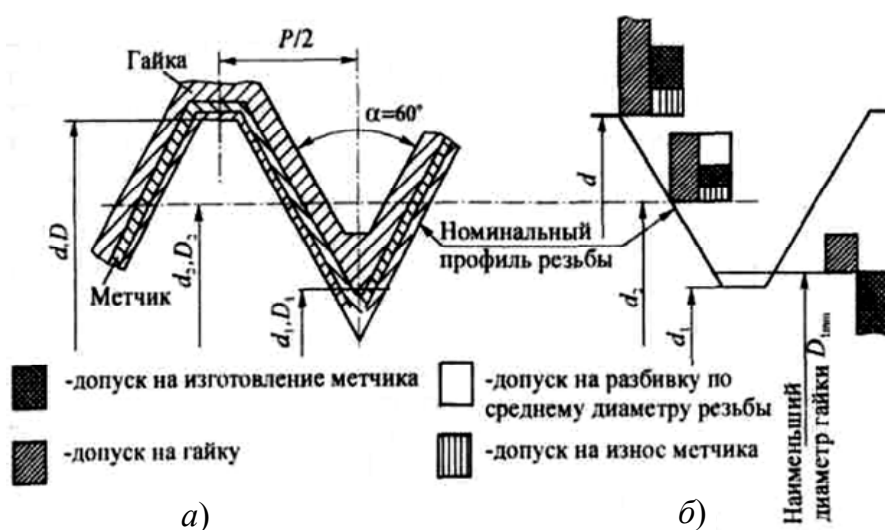


Рис. 58. Схемы расположения полей допусков на диаметры метчиков

Допуск на средний диаметр резьбы метчика для классов точности резьбы 1–3 принимается одинаковым и равным  $Td_2 = 0,2t$ , где  $t$  – допуск на средний диаметр резьбы степени точности 5 по ГОСТ 16093–81. Для метчиков 4-го класса точности  $Td_2 = 0,4t$ .

Схема расположения полей допусков на диаметры метчиков для метрической резьбы приведена на рис. 58. Рекомендации по расчету и выбору допусков на параметры резьбы метчиков приведены в табл. П.1.1–П.1.5 (приложение 1).

Для измерения наружного, внутреннего и среднего диаметров резьбы метчика на инструментальном микроскопе метчик устанавливают в центрах на накладном столике микроскопа. Измерения выполняют в соответствии с инструкцией к прибору. Величины наружного  $d$ , внутреннего  $d_1$  и среднего  $d_2$  диаметров определяют по разнице показаний лимба микрометрического винта микроскопа для двух положений I и II окулярной сетки (рис. 59).

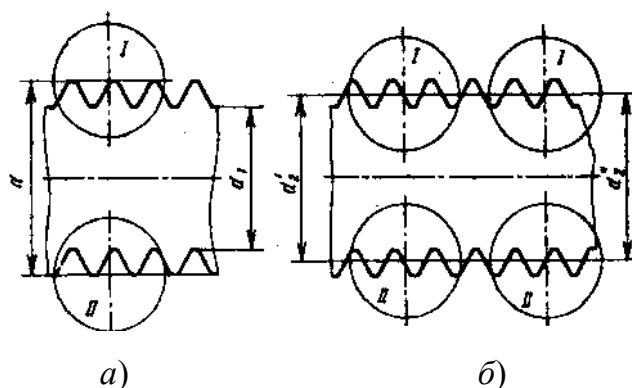


Рис. 59. Схема измерения диаметров резьбы метчика:  
 $a$  – наружного и внутреннего;  $b$  – среднего

При измерении шага резьбы  $P$  окулярную сетку располагают относительно профиля резьбы. Разница отсчетов для положений I и II сетки даст величину шага. Измерения проводят для двух сторон профиля и принимают среднее значение.

Измерение угла профиля резьбы метчика производят отдельно по двум его половинам для того, чтобы проверить не только правильность самого угла, но и перпендикулярность биссектрисы угла к оси резьбы. Отсчеты проводят с помощью окуляра угловой окулярной головки (рис. 60). Угол профиля проверяют в начале и конце калибрующей части.

Сравнивают полученные значения измеренных элементов резьбы для чистового метчика с данными ГОСТ 17039–71 на исполнительные размеры метчиков и ГОСТ 16925–71\* на допуски резьбы метчиков. Определяют степень точности данного комплекта метчиков.

Произвести измерение биений поверхностей метчика и сделать заключение о годности метчика по допускаемым значениям табл. П.1.6 (приложение 1).

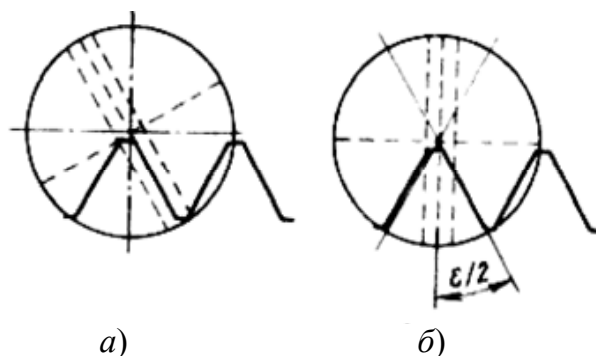


Рис. 60. Схема измерения угла профиля резьбы:  
 а – начальное положение шкалы окулярной головки;  
 б – конечное положение шкалы

### 8. Измерить параметры плашки.

*Резьбонарезную плашку* можно представить в виде закаленной гайки, превращенной в режущий инструмент путем прорезания стружечных канавок и затылования зубьев. Плашка служит для нарезания наружной резьбы за 1 проход. Она не может нарезать резьбу высокой точности, так как после термообработки невозможно устранить возникшие в ее резьбе искажения шага и угла профиля. Однако из-за дешевизны и несложной эксплуатации плашки получили широкое распространение [1].

Резьбонарезная плашка состоит из корпуса, рабочей части и стружечных отверстий (рис. 61). Корпус плашки представляет собой цилиндрический диск, наружная и торцовые поверхности которого служат для базирования и закрепления плашки как во время ее изготовления и работы, та и во время переточек. Корпус характеризуется наружным диаметром  $D$ , высотой  $H$ , наличием крепежных и зажимных элементов, точностью изготовления базовых поверхностей. Корпус плашки имеет на наружной поверхности конические углубления под установочные и крепежные винты и продольный трапециевидного сечения паз  $b \times 60^\circ$  для облегчения разрезки плашек абразивным кругом с целью подрегулировок размера резьбы после износа режущих кромок.

Рабочая часть плашки состоит из режущей (заборной) и калибрующей частей.

*Режущая часть* плашки выполняет основную работу резания, отделяет и формирует стружку, определяет нагрузку на плашку и ее распределение, участвует в перемещении плашки при работе самозатягиванием. Обычно плашки имеют две режущие части, расположенные с каждого ее торца, что обеспечивает увеличение срока службы инструмента после затупления одной стороны.



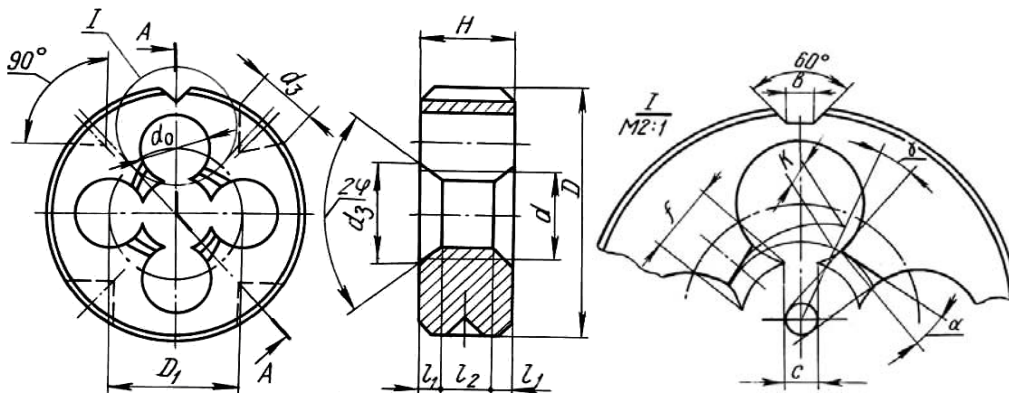


Рис. 61. Эскиз резьбонарезной плашки

Режущая часть характеризуется углом в плане  $\varphi$ , длиной  $l_1$ , формой передней и задней поверхностей, передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  углами в нормальном к оси плашки сечении, углом наклона режущей кромки  $\lambda$ , размерами и формой резьбовых участков, числом и взаимным расположением режущих кромок (гребенок).

Угол  $\varphi_3$  для централизованно выпускаемых плашек принимается равным  $30^\circ$  для метрической резьбы диаметром до 2,5 мм,  $25^\circ$  – для остальных размеров метрических, трубных цилиндрических и конических резьб. Допускается изготовление плашек с углами  $\varphi_3 = 45^\circ$ . Иногда режущие части одной плашки выполняют с различными углами  $\varphi_3$ , что позволяет более рационально загружать плашку: при обработке более прочных материалов работать режущей частью с меньшим углом  $\varphi_3$  (например,  $15...20^\circ$ ), а при обработке менее прочных материалов – режущей частью с большим углом  $\varphi_3$ .

Режущая часть плашки должна быть заточена по передней и задней поверхностям. Передняя поверхность плашки, так же как и метчика, может быть прямолинейной (на высоте не более 1,5 высоты профиля резьбы) или криволинейной.

Передний угол, измеренный в главной секущей плоскости, на внутреннем диаметре должен соответствовать:  $\gamma = 18^\circ$  – для стали с  $\sigma_b < 500$  МПа;  $\gamma = 15^\circ$  – для стали с  $\sigma_b \geq 500$  МПа;  $\gamma = 6^\circ$  – для чугуна;  $\gamma = 23^\circ$  – для меди;  $\gamma = 25^\circ$  – для легких сплавов. Передний угол задается на внутреннем диаметре резьбы и по высоте профиля резьбы он переменный.

Задние углы режущей части находятся в пределах  $6...9^\circ$ . Задняя поверхность выполняется обычно путем затылования по спирали Архимеда.

С точки зрения управления потоком стружки иногда целесообразно на режущей части плашки создавать отрицательный угол  $\lambda$ , что можно осуществить путем вышлифовывания скоса при заточках или

переточках плашек, путем расположения стружечных отверстий под некоторым углом к продольной оси плашки или путем образования конического участка стружечного отверстия при разработке новых конструкций плашек.

*Калибрующая часть* плашки зачищает и калибрует резьбу, участвует в самозатягивании плашки, служит направляющей при продольном перемещении плашки как при нарезании резьбы, так и при свинчивании с резьбы. Характеризуется она длиной, достаточной для устойчивого перемещения плашки по резьбе и обеспечивающей запас на переточки, размерами резьбовой части, формой передних и задних поверхностей, углами заточки. Калибрующая часть плашки выполняется с полным профилем резьбы. Зубья на калибрующей части не затылуются. Длина калибрующей части плашек принимается равной 3...5 виткам.

Форма и размеры *стружечных отверстий* плашки определяют силы трения при резьбонарезании и свинчивании плашки, свободное перемещение стружки, технологичность и точность изготовления как плашки, так и нарезаемой ею резьбы. Форма стружечных отверстий плашки, как правило, цилиндрическая, хотя известны плашки с отверстиями другой формы.

#### 9. Изобразить схемы заточки метчика и плашки.

Наиболее изнашивается у метчиков задняя поверхность зубьев в зоне перехода режущей части в калибрующую (рис. 62). За критерий износа принимается такая величина, превышение которой вызывает ухудшение качества нарезаемой резьбы, главным образом, увеличение параметра шероховатости ее поверхности.

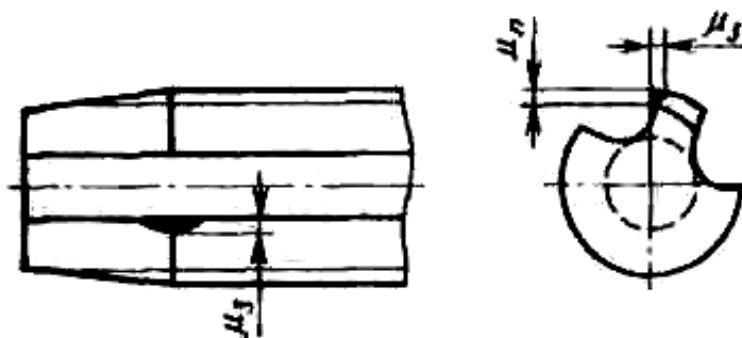


Рис. 62. Характер изнашивания метчиков

Допустимый износ по передней и задней поверхности метчиков приведен в табл. 24.

Значения допустимого износа метчиков

Основные размеры метчиков					Допустимый износ по поверхностям, мм	
Номинальный диаметр резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	Длина калибрующей части, мм	Число перьев	Ширина пера, мм	$P_3$	$P_{II}$
6	1	17	3	2,3	0,25	0,17
8	1,25	21,5	3	3,1	0,25	0,17
10	1,5	20,5	3	3,7	0,3	0,2
12	1,75	25	3	4,9	0,3	0,2
14	2	29	4	5,5	0,4	0,25
16	2	29	4	4,6	0,4	0,25
20	2,5	32,5	4	5,9	0,4	0,25
24	3	36	4	7,0	0,5	0,3
27	3	36	4	7,9	0,5	0,3
30	3,5	39,5	4	9,0	0,5	0,3

Число переточек метчика по задней поверхности (рис. 63, а):

$$n_3 = M / q = (l_k - 3P) / q,$$

где  $M$  – величина допускаемого стачивания;  $q$  – величина стачивания за одну повторную заточку;  $l_k$  – длина калибрующей части;  $P$  – шаг резьбы.

Величина стачивания  $q$  за одну переточку зависит от величины износа  $\mu_{II}$ :

$$q = \Delta / \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол конуса метчика;  $\Delta = \mu_{II} + (0,05 - 0,1)$  мм.

Число переточек метчика по передней поверхности (рис. 63, б):

$$n_{II} = M_1 / q_1 = |(0,5 - 0,7)B| / q_1,$$

где  $q_1$  – величина стачивания за одну переточку;  $B$  – ширина пера метчика;

$$q_1 = \mu_3 + (0,05 - 0,1) \text{ мм.}$$

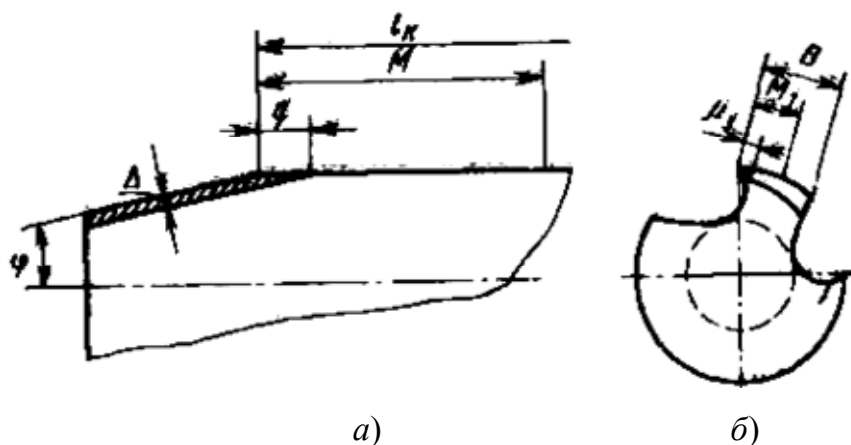


Рис. 63. Схема для определения числа переточек метчика по задней (а) и передней (б) поверхностям

Метчик затачивают по передним и задним поверхностям [3]. Затачивание метчика по передним поверхностям производится на универсально-заточном станке. Метчик закрепляют на станке в центрах или в самоцентрирующем патроне с одновременным упором другого конуса инструмента на центр задней бабки. При затачивании передних поверхностей метчика необходимой величины переднего угла  $\gamma$  достигают смещением оси метчика относительно рабочей поверхности абразивного инструмента (рис. 64). Величину смещения  $h$  определяют по следующей формуле:

$$h = \frac{d}{2} \sin \gamma,$$

где  $d$  – наружный диаметр метчика, мм.

Затачивание производят по упору или с помощью делительного механизма. Для затачивания передних поверхностей метчика применяют плоские или тарельчатые абразивные инструменты.

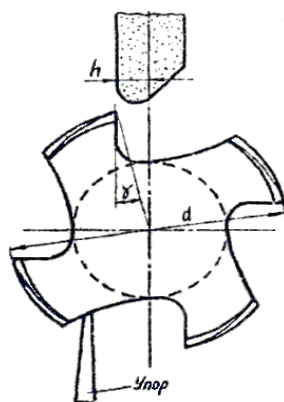


Рис. 64. Схема затачивания передних поверхностей метчика

Затачивание задних поверхностей метчика – это его затылование, производимое в целях получения положительного заднего угла на зубьях заборного конуса. Затылование производится по схеме, показанной на рис. 65, на универсально-заточном станке с применением специального приспособления.

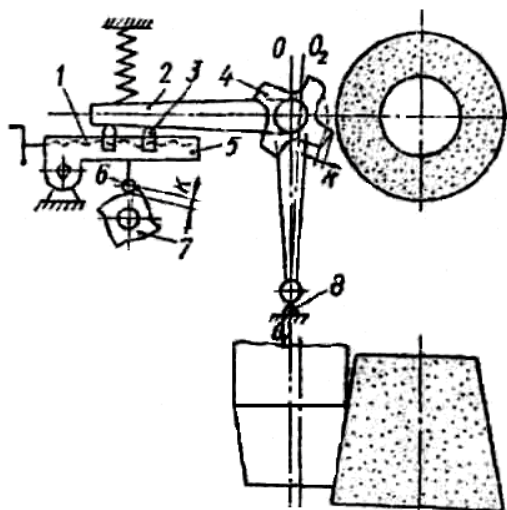


Рис. 65. Схема затачивания задних поверхностей метчика

Метчик 4, закрепленный в центрах каретки, совершает качательное движение вокруг неподвижной опоры 8, которое он получает от кулачка 7, имеющего на своей поверхности столько выступов, сколько гребенок у метчика. При вращении кулачка движение через ролик 6 передается рычагу 5 и сухарям 3. Далее через рычаг 2 качательное движение передается каретке с метчиком.

Меняя положение сухарей 3 с помощью винта 1, настраивают соответствующую величину затылования метчика, которую предварительно подсчитывают по следующей формуле:

$$K = \frac{\pi d_1}{Z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы метчика, мм;  $Z$  – число гребенок метчика.

Затачивание режущей части плашки производится по передним и задним поверхностям, а калибрующей части – только по передним поверхностям. В данной работе проведения затачивания плашки не предусмотрено.

Выбрать марки абразивных инструментов для затачивания метчика и плашки [3].

## Содержание отчета

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Схема срезания припуска метчиком.
4. Схема срезания припуска комплектом.
5. Сводная таблица параметров и углов метчика.
6. Сводная таблица параметров плашки.
7. Заключение об обрабатываемых материалах метчика и плашки.
8. Схемы заточки метчика и плашки.
9. Марки абразивных инструментов для затачивания метчика и плашки.

## Контрольные вопросы

1. Какие Вы знаете методы образования резьбы и резьбообразующие инструменты?
2. В чем состоит отличие резьбовой гребенки от резьбового резца и каковы преимущества и недостатки этих инструментов?
3. Какие типы метчиков Вам известны?
4. Назовите составные части метчика, их назначение и отличительные признаки.
5. Какие схемы срезания припусков метчиками Вам известны?
6. Какие Вы знаете схемы срезания припусков в комплекте метчиков?
7. Назовите составные части резьбонарезной плашки и их назначение.
8. Какие Вы знаете типы резьбонарезных головок и каковы их достоинства?
9. Какие Вам известны резьбонарезные фрезы, схемы их работы, преимущества и недостатки?
10. По каким поверхностям производится перетачивание метчика и резьбонарезной плашки?
11. Назовите марки абразивных инструментов для переточки метчиков и плашек.

## Указания по технике безопасности

Лабораторная работа предусматривает демонстрацию лаборантом контрольного затачивания метчика по передним и задним поверхностям на универсально-заточном станке по данным расчета одного из студентов, выделенного преподавателем.

При этом студенты должны соблюдать условия безопасности:

1. Во время демонстрации контрольного затачивания запрещается прикасаться к рычагам управления и пусковым кнопкам, а также облокачиваться на станок.

2. Не разрешается находиться в плоскости вращения шлифовального круга во избежание попадания в глаза отлетающих частиц стружки и абразива.

## Литература

1. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.

2. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.

3. Попов, С. А. Заточка и доводка режущего инструмента / С. А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.

# Приложение к лабораторной работе № 5

## Приложение 1

Таблица П.1.1

### Предельные диаметры и допуски метчиков для нарезания метрической резьбы (ГОСТ 16925–93)

Класс точности резьбы метчика	Средний диаметр		Нижнее отклонение наружного диаметра $J_s$	Верхнее отклонение внутреннего диаметра $E_{sd_1}$	Предельные размеры резьбы метчика			
	Допуск $Td_1$	Нижнее отклонение $E_m$			Верхнее отклонение $E_s$	Средний диаметр $d_2$	Наружный диаметр $d$	Внутренний диаметр $d_1$
1	$t = 0,2TD_2$	$0,1t$	$0,3t$	См. табл. П.1.2	Форма впадины произвольная, на диаметр не выше $D_1$	$d_{2max} = d_2 + E_s$ $d_{2min} = d_2 + E_m$	$d_{min} = d + J_s$	$d_{1max} = d_1$
2	5-го класса точности резьбы	$0,3t$	$0,5t$					
3		$0,5t$	$0,7t$					
4		$0,3t$	$0,7t$					

Таблица П.1.2

### Значения параметра $J_s$ , мкм (ГОСТ 16925–93)

Диапазон диаметров резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	$J_s$
1,4...2,8	0,20	+21
	0,25	+24
	0,35	+27
	0,40	+28
	0,45	+30
11,2...22,4	0,50	+38
	0,75	+45
	1,00	+50
	1,25	+56
	1,50	+60
	1,75	+64
	2,00	+66
2,8...5,6	2,50	+72
	0,35	+28
	0,50	+32
	0,60	+36
	0,70	+38
	0,75	+38
	0,80	+40



Окончание табл. П.1.2

Диапазон диаметров резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	<i>J<sub>s</sub></i>
22,4...45	0,75	+47
	1,00	+53
	1,50	+64
	2,00	+72
	3,00	+85
	3,50	+90
	4,00	+94
	4,50	+100
5,6...11,2	0,50	+36
	0,75	+42
	1,00	+47
	1,25	+50
	1,50	+56
45...90	1,00	+60
	1,50	+68
	2,00	+76
	3,00	+90
	4,00	+100
	5,00	+106
	5,50	+112
	6,00	+120

Таблица П.1.3

**Предельные отклонения среднего диаметра метчиков  
для нарезания метрических резьб (ГОСТ 16925–93)**

Номинальный диаметр резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	Предельные отклонения среднего диаметра, мкм, для метчика класса точности			
		1	2	3	4
1,4...2,8	0,20	+16	+27	+39	+39
		+5	+16	+27	+16
	0,25	+18	+30	+42	+42
		+6	+18	+30	+18
	0,35	+20	+34	+47	+47
		+7	+20	+34	+20
	0,40	+21	+36	+49	+49
		+7	+21	+36	+21
	0,45	+23	+38	+53	+53
		+8	+23	+38	+23

Продолжение табл. П.1.3

Номинальный диаметр резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	Предельные отклонения среднего диаметра, мкм, для метчика класса точности			
		1	2	3	4
2,8...5,6	0,35	+21	+36	+50	+50
		+7	+21	+36	+21
	0,50	+24	+40	+56	+56
		+8	+24	+40	+24
	0,60	+27	+45	+63	+63
	+9	+27	+45	+27	
5,6...11,2	0,50	+27	+45	+63	+63
		+9	+27	+45	+27
	0,75	+32	+53	+74	+74
		+11	+32	+53	+32
	1,00	+35	+59	+83	+83
+12		+35	+59	+35	
1,25	+38	+63	+88	+88	
	+13	+38	+63	+38	
11,2...22,4	0,50	+29	+48	+67	+67
		+10	+29	+48	+29
	0,75	+34	+57	+80	+80
		+11	+34	+57	+34
	1,00	+38	+63	+88	+88
		+13	+38	+63	+38
1,25	+42	+70	+98	+98	
	+14	+42	+70	+42	
1,50	+45	+75	+105	+105	
	+15	+45	+75	+45	
1,75	+48	+80	+112	+112	
	+16	+48	+80	+48	
11,2...22,4	2,00	+51	+85	+119	+119
		+17	+51	85	+51
11,2...22,4	2,50	+54	+90	+126	+126
		+18	+54	+90	+54

Номинальный диаметр резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	Предельные отклонения среднего диаметра, мкм, для метчика класса точности			
		1	2	3	4
22,4...45	0,75	+35	+58	+81	+81
		+12	+35	+58	+35
	1,00	+40	+66	+92	+92
		+13	+40	+66	+40
	1,50	+48	+80	+112	+112
		+16	+48	+80	+48
	2,00	+54	+90	+126	+126
		+18	+54	+90	+54
3,00	+64	+106	+148	+148	
	+21	+64	+106	+64	
3,50	+67	+112	+157	+157	
	+22	+67	+112	+67	
4,00	+71	+118	+165	+165	
	+24	+71	+118	+71	
4,50	+75	+125	+175	+175	
	+25	+75	+125	+75	
45...90	1,00	+45	+75	+105	+105
		+15	+45	+75	+45
	1,50	+51	+85	+119	+119
		+17	+51	+85	+51
	2,00	+57	+95	+133	+133
		+19	+57	+95	+57
	3,00	+67	+112	+157	+157
		+22	+67	+112	+67
4,00	+75	+125	+175	+175	
	+25	+75	+125	+75	
5,00	+80	+133	+186	186	
	+27	+80	+133	+80	
5,50	+84	+140	+196	+196	
	+28	+84	+140	+84	
6,00	+90	+150	+210	+210	
	+30	+90	+150	+90	

Таблица П.1.4

**Предельные отклонения половины угла профиля метчиков  
для нарезания метрических резьб (ГОСТ 16925–93)**

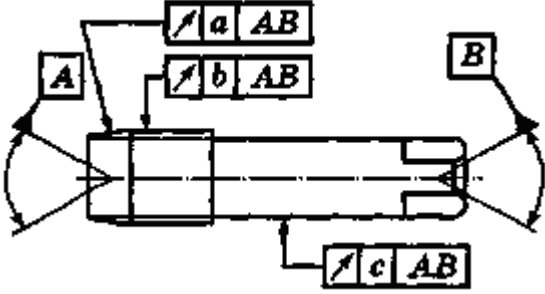
Шаг резьбы, мм	Предельные отклонения половины угла профиля, мин	Шаг резьбы, мм	Предельные отклонения половины угла профиля, мин
0,20; 0,25	±70	1,00; 1,25; 1,50	±25
0,30; 0,35; 0,40	±50	1,75; 2,00; 2,50; 3,00	±20
0,45; 0,50; 0,60	±35	3,50; 4,00; 4,50; 5,00; 5,50; 6,00	±15
0,70; 0,75; 0,80	±30		

Таблица П.1.5

**Предельные отклонения шага резьбы метчиков, мкм (ГОСТ 16925-93)**

Шаг резьбы, мм	Длина измерения в количестве шагов	Класс точности резьбы	
		1, 2, 3	4
0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,60	12	±8	±25
0,70; 0,75; 0,80; 1,00; 1,25	9		±35
1,50	7	±9	±45
1,75			
2,00; 2,50			
3,00		±10	±50
3,50			
4,00		±12	±60
4,50			
5,00		±13	±70
5,50			
6,00		±14	±80

**Допуск биений машинных, ручных и гаечных метчиков  
для нарезания метрических и дюймовых резьб, мм (ГОСТ 3449–84)**

									
Тип метчиков	Номинальный диаметр, мм	<i>a</i>		<i>b</i>		<i>c</i>			
		Класс точности							
		повышенный	нормальный	повышенный	нормальный	повышенный	нормальный		
Машинные	До 8	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02		
	8...16								
	16...24	0,03	0,03		0,03	0,03			
	24...40								
	Свыше 40	0,04	0,04		0,03	0,03			
Гаечные	До 8	0,02	0,05	0,02	0,03	0,04*	0,06*		
	8...10								
	10...16	0,03	0,06		0,04	0,03*	0,05*		
	16...40								
	Свыше 40	0,04	0,04		0,04	0,02*			

\* Для гаечных метчиков с прямым хвостовиком на длине  $l_1/2$  от торца.

## **Лабораторная работа № 6** **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ** **ЗУБООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Для нарезания зубьев цилиндрических колес применяются зуборезные инструменты. Это наиболее сложные и дорогостоящие из всех видов лезвийных инструментов, так как содержат большое число высокоточных режущих фасонных кромок, изготавливаются из высококачественных инструментальных материалов и характеризуются высокой трудоемкостью изготовления и сложностью контроля многочисленных параметров.

Нарезание зубьев цилиндрических колес может производиться либо методом копирования, либо методом обката. Формообразование зубьев производится по схемам следа, огибания или комбинированным [1], [2].

При методе копирования профиль режущих кромок полностью соответствует профилю впадин между зубьями колеса. По такому методу работают дисковые и пальцевые фасонные фрезы, зубодолбежные многолезцовые головки, протяжки. Последние два вида инструментов обеспечивают наивысшую производительность, так как могут срезать металл одновременно из всех впадин. Но в то же время они являются наиболее дорогостоящими, сложными в изготовлении и применяются только в массовом производстве.

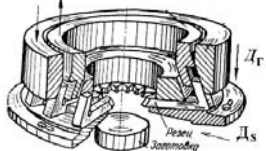
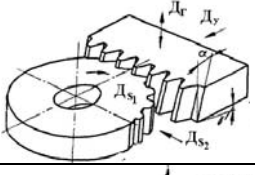
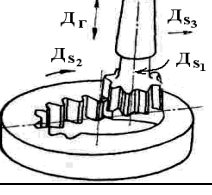
Достоинством метода копирования является относительно простая кинематика станка. Однако точность изготовления зубьев колес относительно низка из-за неизбежных погрешностей изготовления фасонных зубьев инструментов и установки их относительно заготовки.

При методе обката centroиды инструмента и нарезаемого колеса перекатываются друг по другу без скольжения, а профиль нарезаемых зубьев колеса формируется как обвод различных положений режущих кромок в процессе зубонарезания. Форма режущих зубьев у этих инструментов не совпадает с профилем впадин между зубьями нарезаемых колес и определяется в результате достаточно сложных расчетов. По этому принципу работают зуборезные гребенки, червячные фрезы, долбяки, зубострогальные резцы, головки для нарезания конических колес и др. Достоинство этих инструментов – универсальность. Ими можно нарезать колеса данного модуля с различным числом зубьев. При этом точность нарезаемых колес выше точности колес, обработанных по методу копирования. Недостатки: сложные кинематика зу-

борезных станков и конструкция самих инструментов. Основные схемы обработки при нарезании зубчатых колес приведены в табл. 25.

Таблица 25

Параметры нарезания цилиндрических зубчатых колес

Схема обработки	Вид схемы формообразования	Метод формообразования	Режущий инструмент
	Следа	Копирования	Головка контурного зубодолбления
	Комбинированная	Копирования	Дисковая модульная фреза
	Комбинированная	Копирования	Концевая модульная фреза
	Огибания	Обката	Червячная модульная фреза
	Комбинированная	Обката	Зуборезная рейка
	Комбинированная	Обката	Дисковый долбяк
	Комбинированная	Обката	Хвостовой долбяк

*Цель работы:* изучение конструкции зуборезного долбяка и червячной фрезы и исследование их параметров.

## Порядок выполнения работы

1. По выданному преподавателям долбяку устанавливают исходные данные, необходимые для выполнения работы: модуль ( $m$ ), угол профиля ( $\alpha_0$ ), число зубьев ( $z_0$ ).

2. Определяют размеры конструктивных элементов долбяка. Диаметр окружности выступов ( $d_{ao}$ ) измеряют микрометром с точностью до 0,01 мм.

Толщину зуба долбяка измеряют зубомером с тангенциальными губками (рис. 6б, а), или с помощью микроскопа. Измерение производят на заданном расстоянии  $h_y$  от окружности выступов. При измерении толщины зуба по хорде ( $b_y$ ) на расстоянии ( $h_y$ ) от окружности выступов (рис. 6б, в) ее величина по дуге

$$\check{S}_y = 2r_y \psi_y,$$

где  $r_y$  – расстояние от точки  $C$  до оси долбяка:

$$r_y = \frac{r_{ao} - h_y}{\cos \psi_y},$$

где  $\psi_y$  – половина угловой толщины зуба, рад:

$$\operatorname{tg} \psi_y = \frac{b_y}{2(r_{ao} - h_y)}.$$

Пересчет толщины зуба на расчетный размер по делительной окружности (рис. 6б, б) проводят по следующей формуле:

$$S_0 = 2r_0 \left( \frac{S_y}{2r_{oy}} + \operatorname{inv} \alpha_y - \operatorname{inv} \alpha_0 \right),$$

где  $\operatorname{inv} \alpha_y$  и  $\operatorname{inv} \alpha_0$  – эвольвентные функции для точки профиля на измеряемой и делительной окружностях:

$$\operatorname{inv} \alpha_y = \operatorname{tg} \alpha_y - \alpha_y; \quad \operatorname{inv} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 - \alpha_0.$$



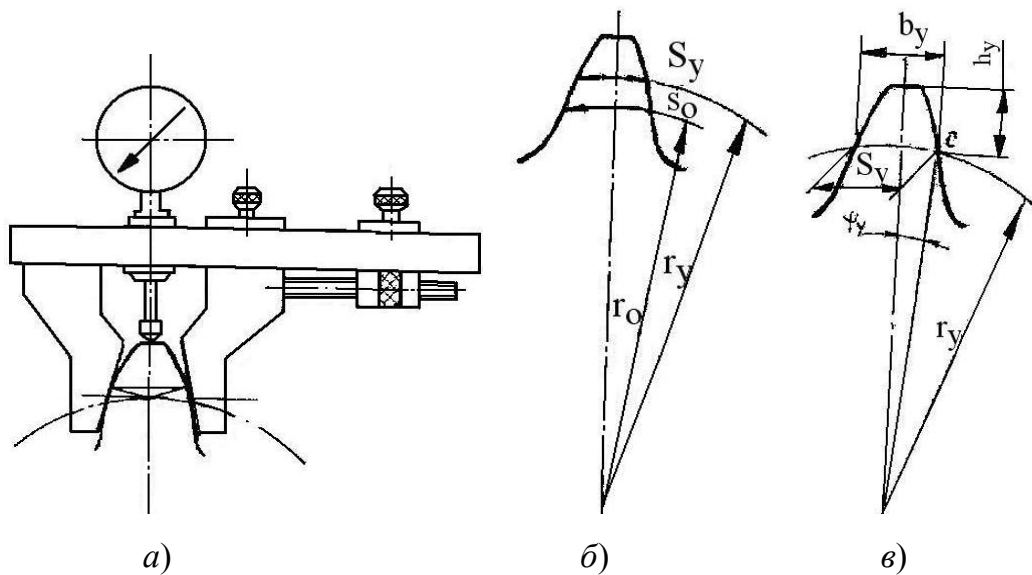


Рис. 66. Параметры зуба долбяка:

*a* – схема измерения толщины зуба; *б* – толщина зуба по хорде;

*в* – толщина зуба по дуге делительной окружности

Величину смещения исходного сечения зубьев долбяка  $A_\phi$  определяют по фактическому размеру диаметра  $d_{ao\_фак}$  окружности выступов долбяка (рис. 67):

$$A_\phi = \frac{d_{ao\_фак} - d_{ao\_исх}}{2} \operatorname{ctg} \alpha_B,$$

или более точно по толщине зуба  $S_{o\_фак}$  на делительном цилиндре:

$$A_\phi = \frac{S_{o\_фак} - S_{исх}}{2} \operatorname{ctg} \alpha_0 \operatorname{ctg} \alpha_B.$$

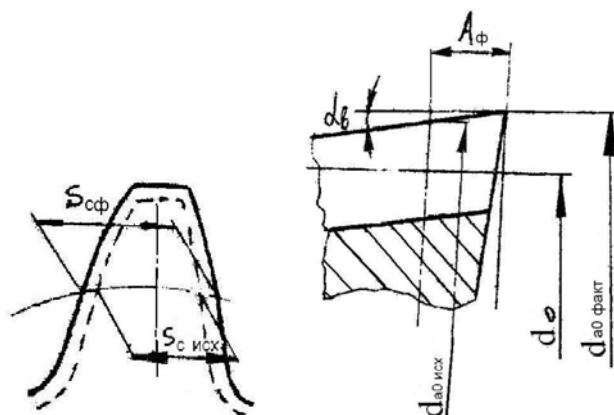


Рис. 67. Схема к определению величины смещения исходного сечения

3. Исследуют геометрические параметры долбяка. Значения заднего  $\alpha_B$  и переднего  $\gamma_B$  углов на вершине зуба (рис. 68, а) определяют с использованием угломера по приведенной схеме.

Значение заднего угла  $\alpha_n$  в сечении  $N-N$  определяют в плоскости, касательной к основному цилиндру долбяка.

Измерения приводят для трех-четырех точек режущей кромки, положение которых определяют радиусом  $r_y$  или расстоянием от окружности выступов долбяка ( $h_y$ ) (см. рис. 68, б):

$$r_y = \sqrt{r_{\text{во}}^2 - g_y^2}; r_{\text{во}} = \frac{mz_0 \cos \alpha_0}{2}.$$

4. Производят аналитическое определение значений задних и передних углов в нормальном сечении к проекции режущей кромки на плоскость переднего торца долбяка в тех же точках:

$$\text{tg} \alpha_{\text{п}} = \sin \alpha_0 \text{tg} \alpha_B; \text{tg} \gamma_{\text{п}} = \sin \alpha_y \text{tg} \gamma_B,$$

где  $\alpha_y$  – угол давления эвольвенты в рассматриваемой точке профиля:

$$\cos \alpha_y = r_{\text{во}} / r_y.$$

5. Сравнивают величины, полученные аналитическим путем, и при измерении на приборах строят график их изменения по высоте зуба долбяка и определяют наименее благоприятные точки для процесса резания.

6. Определяют параметры точности конструктивных элементов долбяка: радиальное биение зубьев ( $F_{\text{ror}}$ ) погрешность профиля ( $f_{\text{for}}$ ).

Радиальное биение зубьев долбяка  $F_{\text{ror}}$  определяется в центрах с помощью измерительной головки и точного цилиндра (ролика), помещаемого последовательно во впадины зубьев долбяка при повороте его вокруг оси. Показания записывают в таблицу.

Погрешность профиля зубьев ( $f_{\text{for}}$ ) определяют на эвольвентомере на расстоянии 2...2,5 мм от плоскости переднего торца наконечником с точечным контактом с измеряемой поверхностью – острым или шариком.

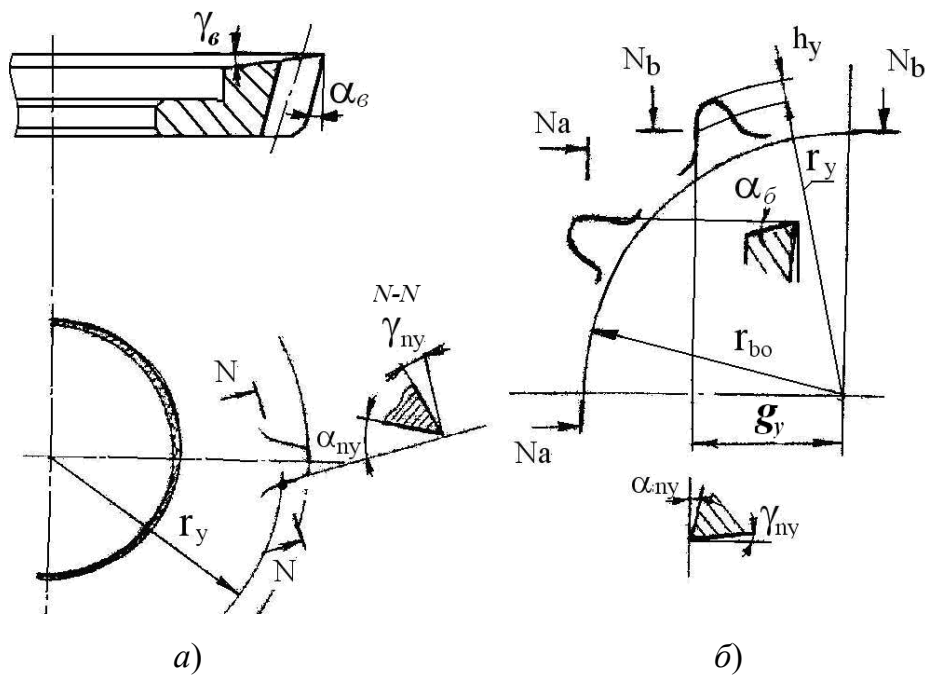


Рис. 68. Геометрические параметры долбяка: *a* – передние и задние углы на вершине зуба; *б* – передние и задние углы на боковых сторонах

### Техническая характеристика эвольвентомера [3]

1. Длина хвостовых долбяков, мм – 100...320.
2. Смещение плоскости измерения вдоль оси долбяка, не менее, мм – 160.
3. Наибольший угол развернутости эвольвенты, не менее – 45°.
4. Цена деления шкалы углов развернутости эвольвенты – 1°.
5. Модуль контролируемых долбяков, мм – 1...10.
6. Диаметр контролируемого долбяка,  $d_0$ , мм – 20...320.

### Принцип измерения и работы эвольвентомера

Принцип работы прибора основан на использовании эталонного эвольвентного кулака 9 (рис. 69), основная окружность которого концентрична с осью 0 измеряемого долбяка.

При развороте кулака 9 вокруг оси 0 на угол  $\varphi$  каретка 7 перемещается на величину  $aB = a_1V_1$  с помощью планки 8, установленной на каретке под углом  $\alpha$  к линии, перпендикулярной к направлению движения. Кареткой 7 через ролик 6 осуществляется поворот линейки 5 вокруг оси  $0_1$  на угол  $\beta$ . На этой же оси укреплена линейка 3, расположенная в одной вертикальной плоскости с линейкой 5.

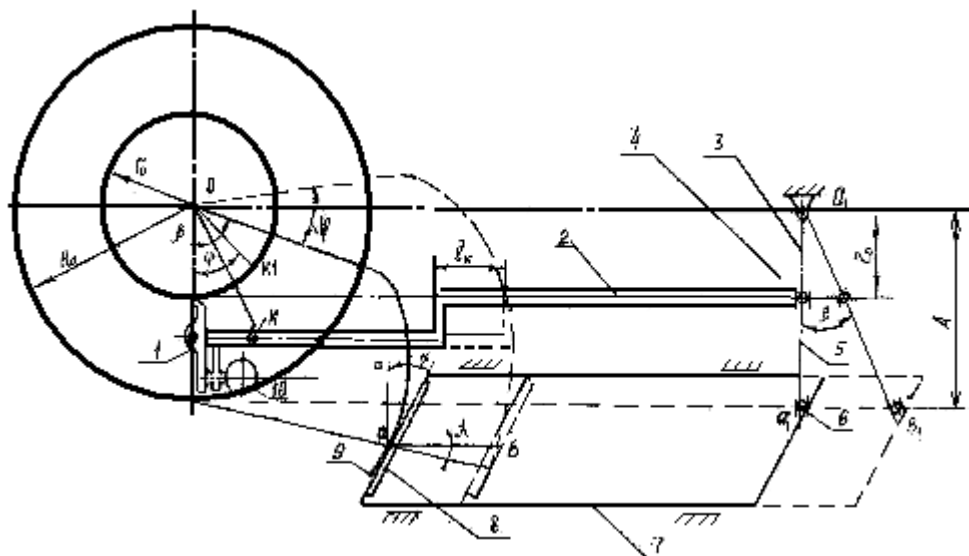


Рис. 69. Принципиальная схема эвольвентомера

При повороте линейки 3 каретка 2 перемещается в направлении, параллельном перемещению каретки 7 на величину  $l_k$ , равную длине дуги  $l_{k1}$  основной окружности  $d_0$ . Ось ролика в каретки 7 расположена на расстоянии  $A$  от оси  $O_0$ . Каретка 2 устанавливается с помощью блока концевых мер так, чтобы ролик 4 находился от оси  $O_0$  на расстоянии, равном радиусу основной окружности  $r_0$  измеряемого долбяка. Вершина измерительного наконечника 1, находящаяся на расстоянии  $r_0$  от оси измеряемого долбяка, при вращении эвольвентного кулака 9 и перемещении каретки 2 описывает эвольвентный профиль в относительном движении к измеряемому долбяку. В процессе измерения вершина наконечника контактирует с контуром зуба долбяка и передает все погрешности профиля на измерительную головку или электронную систему. Электронная система, состоящая из индуктивного датчика, усилителя и самописца, обеспечивает запись предела измерения контролируемого профиля.

### Описание конструкции и кинематика эвольвентомера

Основанием прибора служит станина (рис. 70), на которой закреплен кронштейн 20, несущий пиноль 19 верхнего центра. Пиноль перемещается от маховичка 18 и закрепляется в требуемом положении рукояткой 17. По направляющей планке станины 1 от маховичка 24 перемещается суппорт 9 с измерительной кареткой 10, которая движется относительно суппорта на призматических шариковых направляющих. На измерительной каретке с помощью рукоятки 27 закреп-

ляется ползун 30 с кольцом 29. Внутри станины расположены: рабочий шпиндель 22, вспомогательный шпиндель 32 и нижняя каретка 2. Рабочий шпиндель 22 выполнен в виде полого вала и вращается на подшипниках качения. На верхней части рабочего шпинделя установлен нижний центр 23. В средней части рабочего шпинделя укреплен эвольвентный кулак 6 с косозубым сектором 31, находящимся в зацеплении с червяком 33, вращение которого осуществляется от маховичка 34. Эвольвентный кулак 6 при помощи планки 4 приводит в движение нижнюю каретку 2, которая с помощью ролика 3 воздействует на нижнюю линейку 35, укрепленную на вспомогательном шпинделе 32, и поворачивает ее. При повороте линейки 35 и вспомогательного шпинделя 32 поворачивается верхняя линейка 28. Линейка 28 посредством пальца 29 перемещает измерительную каретку 10. На подвижной каретке 13, расположенной на кронштейне измерительной каретки 10, смонтирован на плоских пружинах измерительный наконечник 16. Перемещение каретки 13 вдоль линии центров прибора осуществляется маховичком 12. Перемещение наконечника в плоскости измерения осуществляется гайкой 14, крепление – винтами 11 и 15. Настройка прибора на радиус основной окружности проверяемого долбяка производится по блоку концевых мер, который устанавливается на специальный столик. Поджимается блок концевых мер к планке суппорта и упору 25 (на кронштейне 26) динамометрическим маховичком 24. Для фиксации измерительного наконечника на линию, касательную к основной окружности проверяемого долбяка, служит кнопка 8 с эксцентриком 7. Эксцентрик 5 предназначен для регулировки планки 4.

Стопорный винт 38 служит для фиксации каретки 13 от самопроизвольного опускания. При работе с электроприводом ручку 36 выдвинуть на себя. На пульте управления нажать кнопку «Вперед» или «Назад» в зависимости от требуемого направления движения каретки 10.

После окончания процесса контроля двигатель 37 автоматически отключится. Кнопка «Стоп» служит для остановки каретки 10 в процессе контроля.

**6.1.** Между планкой на суппорте 9 (рис. 70) и упором 25 установить блок концевых мер, равный радиусу установочной окружности образцовой эвольвентной меры. Поджать блок концевых мер с помощью маховичка 24.

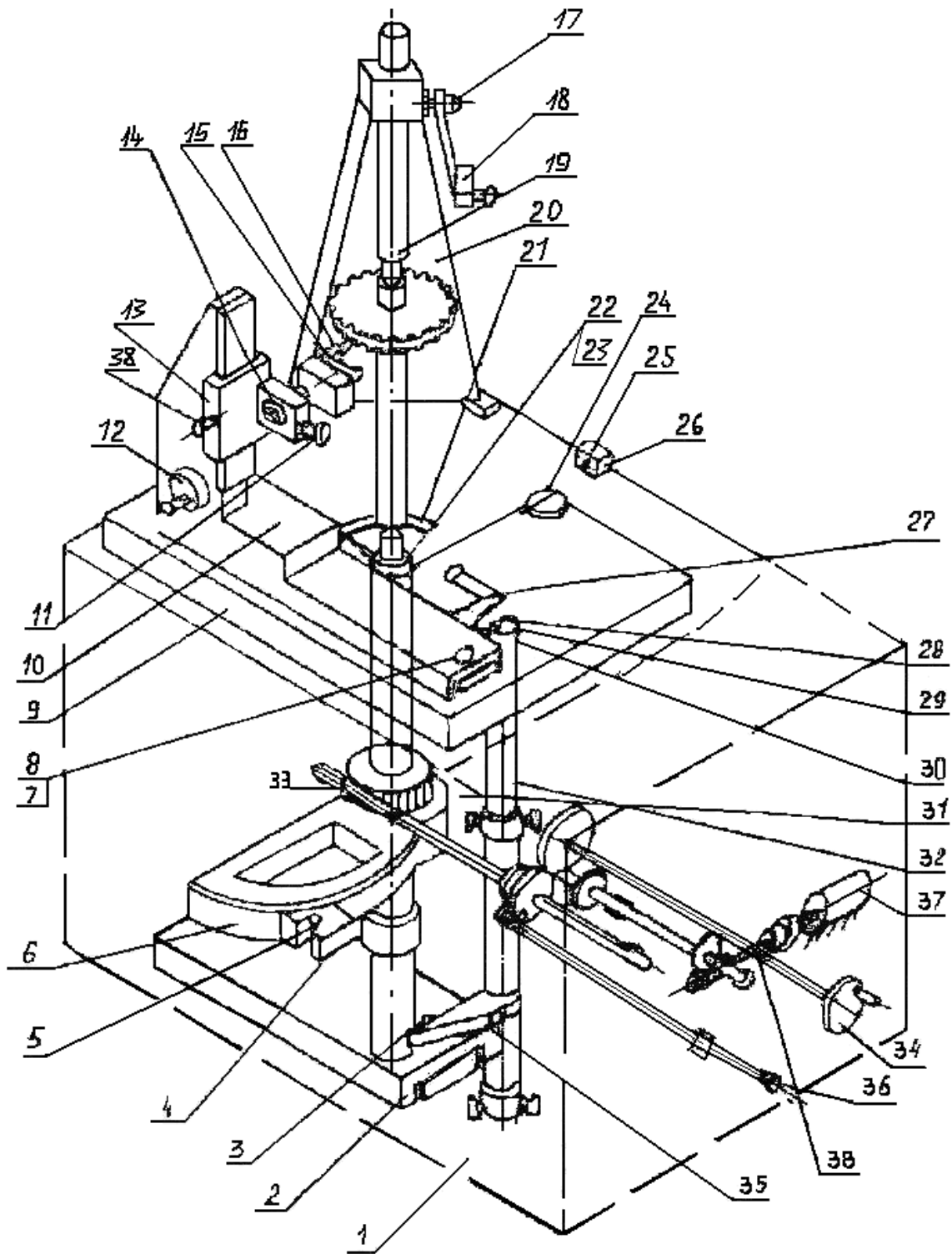


Рис. 70. Схема эвольвентомера КЭУ-М

**6.2.** Установить эвольвентную меру в центрах прибора, связав ее с нижним центром ленточным хомутиком. Цилиндрический участок (с радиусом установочной окружности) эвольвентной меры должен располагаться так, как показано на рис. 71, а.

**6.3.** При помощи установочной кнопки 8 (рис. 70) упорного эксцентрика 7 произвести фиксацию измерительной каретки. Для этого установочную кнопку 8 переместить в осевом направлении и повернуть ее по часовой стрелке.

**6.4.** Вставить измерительный наконечник и закрепить его винтом 15.

**6.5.** Гайкой 14 выдвигают державку с наконечником до сопротивления его вершины с цилиндрическим участком установочной окружности эвольвентной меры.

**6.6.** Покачивая измерительный наконечник, убеждаются в том, что его вершина действительно касается цилиндрического участка эвольвентной меры.

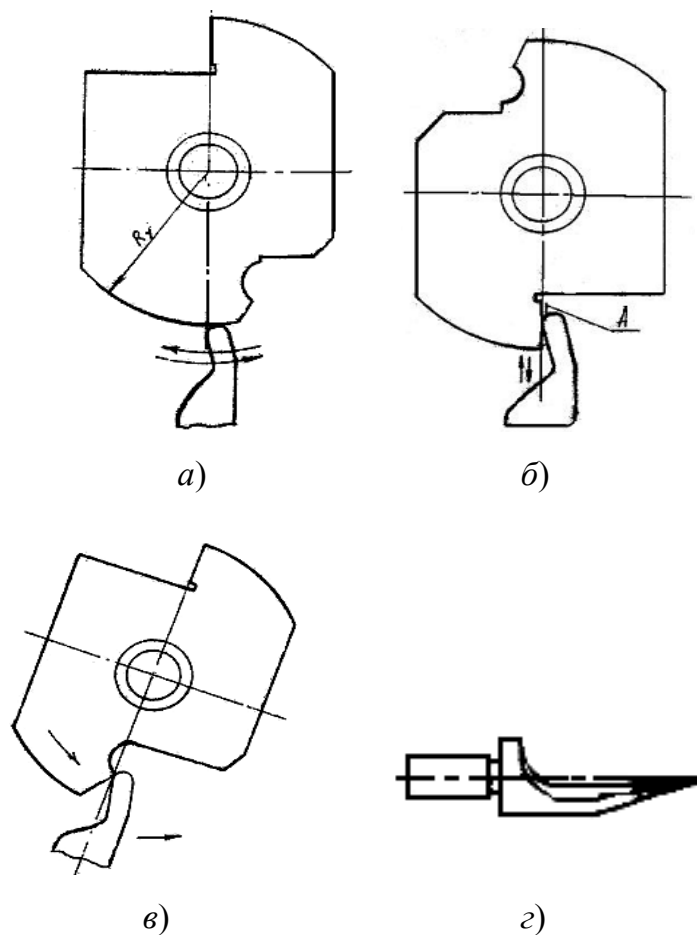


Рис. 71. Схемы настройки эвольвентомера (а), (б), (в) и измерительный наконечник (г)

**6.7.** Отвести суппорт маховичком 24 и вынуть установочный блок концевых мер.

**6.8.** Установить эвольвентную меру так, как показано на рис. 71, б.

**6.9.** Установить измерительную головку и дать натяг.

**6.10.** Перемещая суппорт от центра оправки и поворачивая ее, добиться такого положения осевой плоскости *A* эвольвентной меры, при котором измерительная головка будет давать отклонения не более 0,003 мм на всей длине поверхности *A*. После этого измерительную головку установить на нуль. При этом положении вершина измерительного наконечника проходит через ось измеряемого долбяка. Во избежание затупления измерительного наконечника и возникновения царапины на поверхности эвольвентной меры необходимо при перемещении суппорта к центру оправки отводить наконечник от осевой плоскости эвольвентной меры винтом *15* (рис. 70).

**6.11.** Установочную кнопку *8* вывести из соприкосновения с установочным эксцентриком *7*.

**6.12.** Установить эвольвентную меру так, как показано на рис. 71, *в*.

**6.13.** Связать измерительную каретку *10* (рис. 70) при помощи ползуна *30* с линейкой *28*. Суппорт при помощи маховичка отвести от центров на максимальное расстояние, перевести вручную измерительную каретку в крайнее левое положение, зафиксировать пружинный прихват ползуна *30* на линейке *28* и, возвращая измерительную каретку в крайнее правое положение, ввести направляющий шип ползуна *30* в соответствующий паз на измерительной каретке.

**6.14.** Установить между суппортом *9* и упором *25* блок концевых мер, равный радиусу основной окружности эвольвентной меры, и поджать маховичком *24*.

**6.15.** Вращением маховичка *34* переместить измерительную каретку в крайнее левое положение, после чего маховичку сообщить 2, 3 оборота в обратном направлении для выборки люфта прибора.

**6.16.** Рукояткой *27* освободить ползун *30* от соприкосновения с измерительной кареткой.

**6.17.** Вручную вернуть измерительную каретку вправо и зафиксировать ее относительно установочного эксцентрика *7* упорной шпонкой *8*.

**6.18.** Поворачивая образцовую эвольвентную меру в центрах прибора, создать предварительный натяг на измерительной головке.

**6.19.** Ленточный хомутик закрепить на оправке и вывести установочную кнопку *8* из контакта с эксцентриком *7*.

**6.20.** Вращением маховичка *34* переместить измерительную каретку *10* вправо на 10°.



**6.21.** Дать измерительной головке натяг такой же, как и при установке наконечника (рис. 71, *з*) в плоскости *A* (рис. 71, *б*).

**6.22.** Вращая маховичок 34, наблюдают за показаниями измерительной головки. Если показания прибора будут отличаться более чем на 0,003 мм от отклонения, указанного на эвольвентной мере, необходимо произвести проверку нулевой установки.

**6.23.** Определить радиус основной окружности измеряемого долбяка. Для прямозубого долбяка радиус основной окружности в исходном сечении определяется по следующей формуле:

$$r_0 = \frac{mz_0 \cos \alpha_0}{2},$$

где  $m$  – модуль измеряемого долбяка;  $z_0$  – число зубьев;  $\alpha_0$  – угол исходного контура рейки.

Для косозубого долбяка радиус основной окружности в исходном сечении определяется по формуле

$$r_0 = \frac{m_s z_0 \cos \alpha_s}{2},$$

где  $m_s$  – торцовый модуль долбяка;  $\alpha_s$  – угол зацепления в торцовой плоскости:

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta_{ds}},$$

где  $\alpha_n$  – угол зацепления в нормальной плоскости;  $\beta_{ds}$  – угол наклона на делительном цилиндре:

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta_{ds}},$$

где  $m_n$  – модуль в нормальном сечении.

**6.24.** Между планкой суппорта 9 (см. рис. 70) и упором 25 устанавливают подсчитанный блок концевых мер, равный радиусу основной окружности выбранного сечения долбяка. Блок концевых мер поджать суппортом с помощью маховичка 24.

**6.25.** При проверке левого профиля долбяка необходимо маховичком 34 переместить измерительную каретку влево.

**6.26.** Открепить ползун 30 на измерительной каретке и вручную возвратить каретку вправо до соприкосновения упорной кнопки 8 с

установочным эксцентриком. Поворотом упорной кнопки по часовой стрелке фиксируют каретку в этом положении.

**6.27.** Закрепить на оправке с хомутиком измеряемый долбяк и установить в центрах прибора.

**6.28.** Ввести наконечник 16 (рис. 70) во впадину измеряемого долбяка, при этом следить за тем, чтобы наконечник не уперся в окружность впадин. На это обстоятельство следует обратить особое внимание при контроле долбяков, у которых основная окружность расположена внутри окружности впадин.

**6.29.** Поворачивая оправку в центрах при помощи винтов, расположенных на поводке шпинделя, создают такой же натяг на измерительной головке, как при установке наконечника в плоскости  $A$  (рис. 71, б).

**6.30.** Перемещая измерительную каретку вправо с помощью маховичка 34, наблюдают за показаниями измерительной головки. Профиль зуба долбяка рекомендуется проверять от ножки зуба к его головке, так как при проверке в обратном направлении наконечник будет царапать профиль.

Запись отклонений профиля зуба производится по следующей форме (табл. 26).

Таблица 26

Результаты измерений

Углы развернутости эвольвенты, градус	Отклонение измерительной головки, мкм
0	0
$\nu_1$	$\mu_1$
$\nu_2$	$\mu_2$
...	...

Углы развернутости эвольвенты отсчитываются по специальной круговой шкале 21 (рис. 70), расположенной на станине прибора.

**6.31.** Проверку правого профиля можно произвести, перевернув оправку с измеряемым долбяком в центрах прибора, в этом случае правый профиль занимает место левого, проверку произвести по вышеописанному порядку.

**6.32.** По результатам измерений строятся графики (рис. 72). Ось ординат отражает углы развернутости  $\nu$  в исследуемых точках эвольвентного профиля зуба долбяка. По оси абсцисс откладывают измеренные на приборе отклонения фактического профиля зуба долбяка от теоретической эвольвенты  $f_{for}$ . Наклонные участки кривых 2 и 3

(рис. 70) указывают в зависимости от направления на срез или утолщения профиля зуба, т. е. на его модификацию. Погрешность профиля  $f_{for}$  – наибольшая разность показаний. По результатам записи отклонений и углов развернутости определить, на каком радиусе  $r_x$  и соответственно, в каком месте зуба расположено то или иное отклонение профиля:

$$r_x = \frac{r_0}{\cos \alpha_x},$$

где  $\alpha_x$  – угол давления в рассматриваемой точке X:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = 0,017453\nu.$$

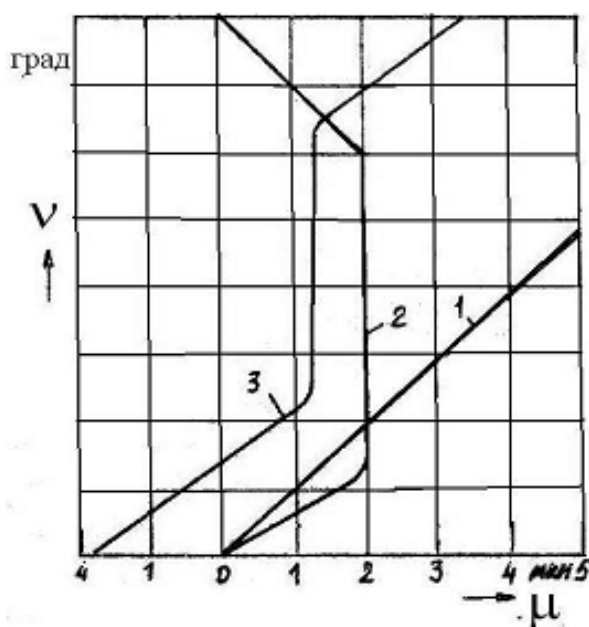


Рис. 72. Графики отклонений от эвольвенты профиля зуба долбяка

При контроле косозубых долбяков диаметр основной окружности рассчитывают отдельно для каждой стороны профиля:

а) для острой стороны:

$$d_0 = \frac{m_n z}{\cos \beta_{ds}} \cos \alpha_{\text{остр}}; \operatorname{tg} \alpha_{\text{остр}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{(1 - \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \gamma_B) \cos(\beta_{dx} + \alpha_{\delta})},$$

где

$$\operatorname{tg} \alpha_{\delta} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \alpha_0}{1 - \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \gamma_B};$$

б) для тупой стороны:

$$d_0 = \frac{m_n z}{\cos \beta_{ds}} \cos \alpha_{и,туп} ; \operatorname{tg} \alpha_{и,туп} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{(1 - \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \gamma_B) \cos (\beta_{ds} - \alpha_0)}$$

**6.33.** Сопоставляя полученные величины  $f_{for}$  и  $F_{ror}$ ,  $f_{гор}$ ,  $f_{акр}$  с нормативными данными (см. приложение 1), определяют класс точности долбяка.

**7.** Исследуют влияние вида заточки передней поверхности на профиль зубьев долбяка. Исследуемый долбяк имеет три группы зубьев: с различными значениями переднего угла  $\gamma_B$  (рис. 73, а), с криволинейной (рис. 73, б) и ступенчатой (рис. 73, в) формами передней поверхности.

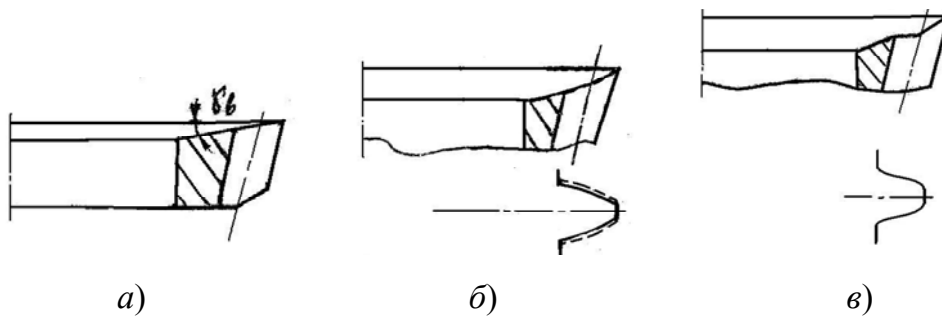


Рис. 73. Формы передних поверхностей долбяка:  
а – плоская; б – криволинейная; в – ступенчатая

**7.1.** Аналитически определяют форму зубьев долбяка:

– угол профиля ( $\alpha'$ ):

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha_0 (1 - \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \gamma'_B);$$

– измененная толщина зубьев на расстоянии  $h_y$  от окружности выступов с передним углом  $\gamma'_B > 0$  по сравнению с долбяком, у которого  $\gamma_B = 0$ , равна  $2\Delta S$  (рис. 74), где

$$\Delta S = \left( 1 + \frac{h_{ao} - h_y}{d_0} \right) h_y \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \gamma'_B \operatorname{tg} \alpha_0,$$

а при смещении режущей кромки с торцовой плоскости долбяков на величину  $e_y$ :

$$\Delta S = \left( 1 + \frac{h_{ao} - h_y}{d_0} \right) e_y \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \alpha_0.$$

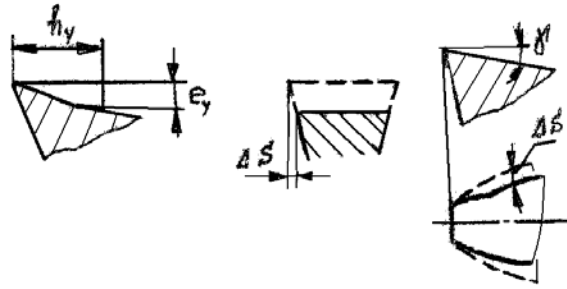


Рис. 74. Схема определения параметров зуба долбяка

**7.2.** Измерить толщины зубьев в различных сечениях и сравнить результаты с расчетными значениями.

**8.** Произвести измерения основных размеров выданной преподавателем червячной фрезы: общую длину фрезы  $L$ ; размеры буртиков  $d_1$  и  $l_1$ ; диаметр посадочного отверстия  $d_0$ ; высоту  $h_1$  и толщину  $S_{no}$  зубьев; элементы модификации профиля зуба, обеспечивающие срез головки зуба колеса –  $h_{fo}$ ,  $a_f$  и подрезание ножки зуба колеса –  $h_{ap}$ ,  $a_p$  (рис. 74); глубину канавки  $H_k$ .

**8.1.** Определить геометрические параметры фрезы. Передний угол для чистовых червячных фрез чаще всего равен  $0^\circ$ , так как переднюю поверхность для уменьшения искажения профиля (см. рис. 75) располагают радиально. Задний угол можно определить изменением величины затылованием зубьев фрезы  $K$ . Величину  $K$  определяют на шлифовальном участке профиля зуба. Фреза устанавливается в центрах и измерительный наконечник устанавливают на заднюю поверхность в радиальном направлении с достаточным натягом. Затем поворачивают фрезу на угол  $\tau' = 6 - 8^\circ$  и отмечают по индикатору величину падения затылка  $K'$ .

Величина затылования равна:

$$K = K' \frac{360^\circ}{\tau' Z_0}$$



Расчет углов  $\alpha_{in}$  выполняют для ряда точек профиля зуба, определяемых значениями радиусов  $r_i$ . По результатам расчетов строят график изменения задних углов в нормальном сечении по профилю зуба фрезы.

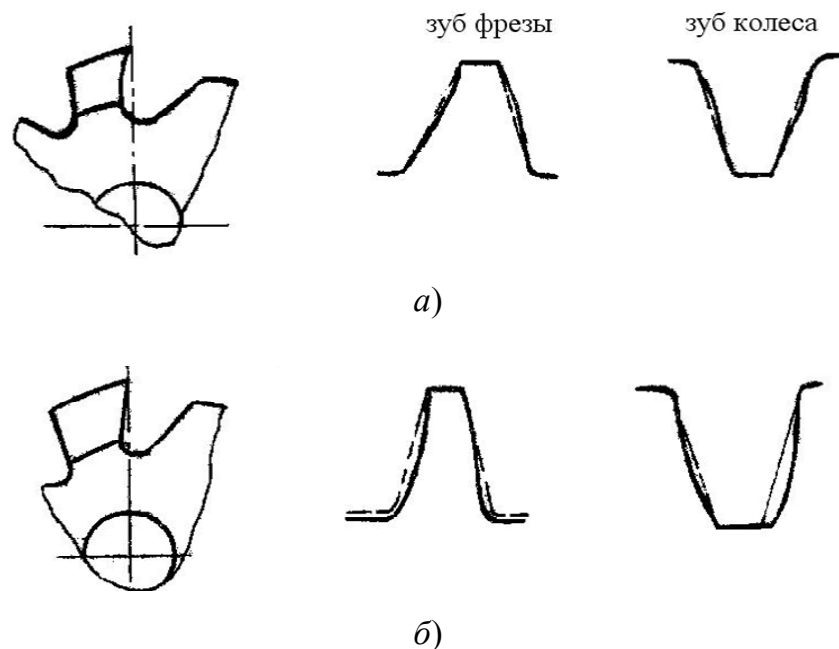


Рис. 76. Фрезы передней поверхности зуба фрезы:  
а – криволинейная; б – плоская

## 8.2. Рассчитать параметры фрезы:

- высоту профиля  $h_0 = 2,5 m$ ;
- высоту головки и ножки зуба  $h_{ao} = h_{fo} = 1,25 m$ ;
- толщину зуба по средней линии:

$$S_{no} = P_{no} - S_1,$$

где  $P_{no}$  – нормальный шаг  $P_{no} = \pi m$ ;  $S_1$  – толщина зуба нарезаемого колеса по делительному диаметру;

– средний расчетный диаметр в сечении, отстоящем от передней поверхности на  $(0,1 \dots 0,25) P_{to}$  :

$$d_{mo} = d_{ao} - 2h_{ao} - 2\sigma K_1,$$

где  $d_{ao}$  – наружный диаметр фрезы;  $h_{ao}$  – высота головки зуба фрезы;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий перетачивание фрезы по передней поверхности  $\sigma = 0,1 \dots 0,25$  (по ГОСТ 9324–80) для новой фрезы  $\sigma = 0,15$ ;  $K_1$  – величина затылования шлифовальной части зуба;

– осевой шаг зубьев фрезы:

$$P_{xo} = \frac{P_{no}}{\cos \gamma_{mo}} = \frac{\pi m_o}{\cos \gamma_{mo}};$$

– угол подъема витков фрезы:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\min} = \frac{P_{xo}}{\pi d_{mo}},$$

где  $d_{mo}$  – средний расчетный диаметр фрезы, или

$$\sin \gamma_{mo} = \frac{P_{no}}{\pi d_{mo}} = \frac{m_n}{d_{mo}}.$$

Если у фрезы винтовые стружечные канавки, то необходимо определить:

– шаг винтовых канавок:

$$P_z = \pi d_{mo} \operatorname{ctg} \lambda_{mo};$$

– проекцию нормального шага зубьев фрезы на ее ось:

$$P_{np} = P_{no} \cos \gamma_{mo}$$

для фрез с большими углами  $\gamma_{mo}$ ,  $P_{np} = P_{xo} P_z / (P_{xo} + P_z)$ ;

– углы  $\alpha_0$  профиля зуба однозаходной фрезы при архимедовом основном червяке:

$$\operatorname{tg} \alpha_{0\text{прав.лев}} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{черв}} \mp \frac{K_{z_0}}{P_z},$$

где знак  $(-)$  принимается для правой стороны зуба; знак  $(+)$  – для левой стороны. Для многозаходных фрез знаки меняются:

– угол профиля основного архимедова червяка:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{черв}} = \operatorname{ctg} \alpha_{no} \cos \gamma_{mo},$$

где  $\alpha_{no}$  – угол профиля инструментальной рейки фрезы.

**8.3.** Определяют основные показатели технических требований (приложение 2) и делают заключение о классе точности червячной фрезы.



## 9. Изобразить схемы заточки долбяка и червячной фрезы.

Режущие элементы зуборезных инструментов изнашиваются по задней и передней поверхностям.

Обычно лимитирующим износом, влияющим на точность нарезаемого колеса и шероховатость поверхности, является износ у вершины зуба по задней поверхности –  $h_3$  (табл. 27), величина которого определяет припуск  $h$ , мм, при заточке инструмента по передней поверхности:  $h = h_3 + (0,1...0,15)$ .

Таблица 27

Допустимый износ по задней поверхности зуборезных инструментов, мм

Обрабатываемый материал	Зуборезный инструмент	Обработка	
		предварительная	чистовая
Сталь	Фрезы:		
	дисксовая	0,8–1	0,2–0,4
	червячная	1–1,5	
	Долбяк дисксовый	0,8–1	0,1–0,25
Чугун	Фреза червячная	0,6–0,8	0,2–0,4
	Долбяк дисксовый	0,8–1	0,1–0,25

Для заточки червячной фрезы по передней поверхности необходимы подача на врезание, деление на зуб, продольная подача и относительный поворот образующей для формообразования винтовой поверхности [4].

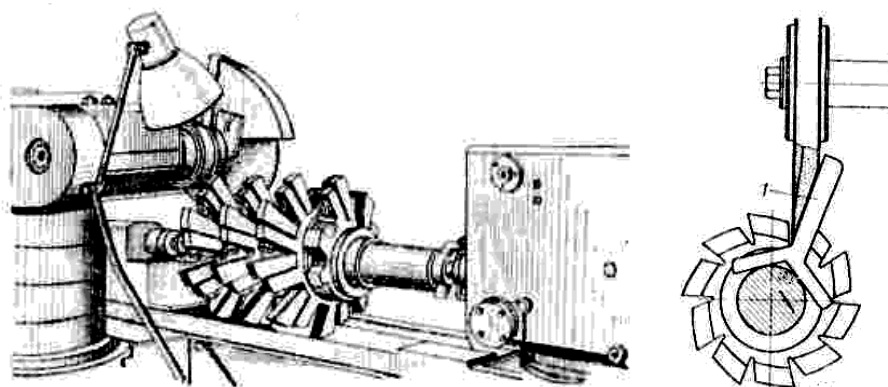


Рис. 77. Схемы переточки червячной фрезы

При заточке фрез с прямолинейными стружечными канавками дополнительного поворота не требуется, так как винтовая передняя поверхность становится плоской и ее можно шлифовать торцом абразивного инструмента. Конструкция станка для заточки таких фрез значительно упрощается, а точность обработки на нем и жесткость

системы повышаются. Съём припуска осуществляется по схеме многопроходного шлифования с делением на зуб после каждого двойного хода. Продольная подача может осуществляться либо подвижным столом, на котором устанавливается фреза, либо подвижной шлифовальной бабкой. Обе схемы используются в разных моделях станков.

При заточке фрез с винтовыми стружечными канавками дополнительное вращательное движение фрезы осуществляется поворотом шпинделя с помощью одного из следующих устройств: синусной линейки, шестеренчато-реечной зубчатой передачи, шарикового винта, специального электрогидравлического следящего привода.

Наиболее сложные станки для заточки червячных фрез имеют следующий цикл работы: грубое шлифование, предварительное выхаживание, тонкое шлифование, тонкое выхаживание. Все параметры, определяющие продолжительность цикла (число подач на глубину резания, число оборотов фрезы при грубом, тонком шлифовании и выхаживании, число затачиваемых зубьев между подачами на глубину резания и между двумя правками, скорость подач при правке), устанавливаются соответствующими устройствами при наладке программы операции.

Переднюю поверхность фрез с винтовыми стружечными канавками шлифуют конической поверхностью тарельчатого абразивного инструмента с углом профиля  $15\text{--}20^\circ$  и более при малых модулях ( $m < 2$  мм) или при определенных погрешностях по радиальности передней поверхности (для класса точности  $A$   $m \leq 4$  мм, для класса точности  $AA$   $m \leq 8$  мм). Это связано с тем, что угол подъема винтовых линий на фрезе зависит от размера цилиндрической поверхности. Угол подъема винтовой линии на среднем диаметре фрезы меньше угла подъема винтовых линий для точек профиля на вершине зуба и больше – для точек профиля во впадине зуба. В связи с этим прямолинейная образующая конического абразивного инструмента при заточке срезает часть металла на передней поверхности и ее образующая становится выпуклой вместо прямолинейной.

Во избежание подобного подрезания образующая абразивного инструмента должна иметь криволинейный выпуклый профиль, который достигается правкой абразивного инструмента по копиру.

Зуборезные долбяки с прямыми зубьями затачивают по передней поверхности периферией абразивного инструмента на плоскошлифовальных станках с круглым столом и универсально-заточных станках с применением приспособления для круглого шлифования.

У косозубых долбяков заточку каждого зуба производят отдельно по методу плоского шлифования периферией абразивного инструмента. Боковая поверхность зубьев используется в качестве делительного диска. Образующая передней поверхности имеет наклон относительно оси долбяка для образования переднего угла по вершине зуба. Поверхность зуба долбяка должна быть симметрична относительно абразивного инструмента, чтобы были равны передние углы на боковых режущих кромках. Это обеспечивается соответствующей установкой долбяка в приспособлении под углами  $\gamma$  и  $\beta_d$ .

Выбрать марки абразивных инструментов для затачивания червячной фрезы и долбяка.

### **Структура отчета**

1. Цель работы.
2. Схемы обработки зуборезным инструментом.
3. Схемы формообразования и срезания припуска.
4. Расчеты и результаты измерений конструктивных элементов долбяка.
5. Диаграмма точности профиля долбяка.
6. Расчеты и результаты измерений конструктивных элементов червячной фрезы.
7. Схемы перетачивания долбяка и червячной фрезы с марками абразивных инструментов.
8. Рабочие чертежи (эскизы) долбяка и червячной фрезы.

### **Контрольные вопросы**

1. Дать определение методам формообразования и схемам срезания припуска.
2. Раскрыть классификацию долбяков и червячных фрез.
3. Раскрыть влияние основных параметров долбяков и червячных фрез на точность нарезаемых зубчатых колес.
4. Назвать инструмент, предназначенный для нарезания различных видов зубчатых колес.
5. Раскрыть принцип работы эвольвентомера КЭУ-М.
6. Раскрыть содержание основных технических требований, указанных на рабочих чертежах инструментов.

## Литература

1. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.

2. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.

3. Инструкция по эксплуатации эвольвентомера КЭУ. – М., 1983.

4. Попов, С. А. Заточка и доводка режущего инструмента / С. А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.

## Приложения к лабораторной работе № 6

### Приложение 1

#### Технические требования к долбякам по ГОСТ 9323–84

1. Хвостовые долбяки должны изготавливаться сварными или паяными. В месте сварки раковины и непровар не допускаются. Разрыв слоя припоя не должен превышать 10 % от его общей длины (припой марки П110).

2. Хвостовая часть долбяков изготавливается из конструкционной стали 40Х по ГОСТ 4543–71 или из стали 45 по ГОСТ 1050–74.

3. Твердость долбяков должна быть:

- режущей части из быстрорежущей стали – HRC<sub>3</sub> 62...66;
- режущей части из быстрорежущей стали с содержанием ванадия 3 % и более и кобальта 5 % и более – выше на 1, 2 единицы;
- хвостовой части – не менее HRC<sub>3</sub> 35.

4. Шероховатость поверхностей долбяков не должна превышать указанной в табл. П.1.1.

Таблица П.1.1

#### Параметры точности и шероховатости

Наименование поверхности	Класс точности	Параметр шероховатости
		$R_a$
1. Передние и задние поверхности зубьев	AA,	0,32
	A, B	0,63
2. Опорная поверхность дисковых и чашечных долбяков	AA,	0,16
	A, B	0,25
3. Посадочное отверстие дисковых и чашечных долбяков	AA,	0,16
	A, B	0,25
4. Внутренняя опорная поверхность дисковых и чашечных долбяков	AA, A, B	0,63
5. Поверхность хвостовика хвостовых долбяков	A,	0,5
	B	0,63
6. Остальные поверхности	AA, A, B	2,5

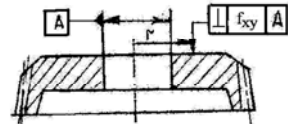
5. Предельные отклонения конусов Морзе – АТ7 ГОСТ 2848–75.

6. Допуски и предельные отклонения проверяемых параметров долбяков не должны превышать величин, указанных в табл. П.1.2.

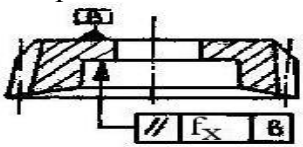
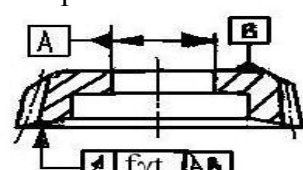
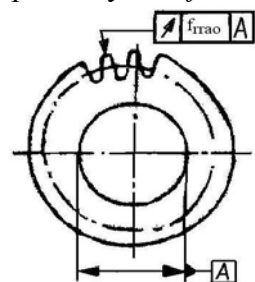
7. Конусность и овальность посадочного отверстия должны быть в пределах половины допуска на диаметр отверстия.

## Допуски и предельные отклонения проверяемых параметров

Наименование и обозначение проверяемых параметров	Обозначение допусков	Номинальный делительный диаметр, мм	Класс точности	Модуль, мм			
				От 1 свыше 3,5	Свыше 3,5 до 6,3	Свыше 6,3 до 10	Свыше 10
				Допуски и предельные отклонения, мкм			
1. Отклонение диаметра посадочного отверстия, $d$ , $f_d$	$f_d$	До 50	AA	–	+5		–
		Свыше 50 до 120	A	–	+8		
		До 50		+8			–
		Свыше 50 до 120		–	+10		
2. Биение конуса хвостовых долбяков, $f_{rk}$	$f_{rk}$	–	A, B	5		–	
3. Отклонение от перпендикулярности внешней опорной поверхности к поверхности посадочного отверстия	$f_{xy}$	50	A	4	5	–	–
			B	6	8	–	–
		Свыше 50 до 125	AA	3	4		–
			A	5	6		–
		Свыше 50 до 200	B	8	10		–
			AA	–	5		
			A	–	8		
B	–	12					



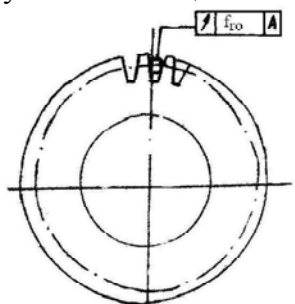
Измеряется на радиусе  $r \geq 15$  мм для чашечных долбяков  $d_0 = 50$  мм, на радиусе  $r \geq 30$  мм для долбяков до  $d_0 = 125$  мм и на радиусе  $r \geq 60$  мм для долбяков свыше 125 мм

Наименование и обозначение проверяемых параметров	Обозначение допусков	Номинальный делительный диаметр, мм	Класс точности	Модуль, мм			
				От 1 свыше 3,5	Свыше 3,5 до 6,3	Свыше 6,3 до 10	Свыше 10
				Допуски и предельные отклонения, мкм			
4. Отклонение от параллельности опорных поверхностей 	$f_x$	50	A	5	6	—	—
			B	8	10	—	—
		Свыше 50 до 125	AA	3	4	4	—
			A	5	6	6	—
		Свыше 125 до 200	B	8	10	10	—
			AA	—	—	5	6
	A	—	—	8	8		
	B	—	—	12	12		
5. Торцовое биение передней поверхности  Измеряется на делительной окружности или близкой к ней	$f_{yt}$	До 50	A	14	14	—	—
			B	20	20	—	—
		Свыше 50 до 125	AA	12	12	12	—
			A	16	16	16	—
		Свыше 125 до 200	B	25	25	25	—
			AA	—	20	20	20
	A	—	28	28	28		
	B	—	40	40	40		
6. Отклонение переднего $\pm f_{\gamma a}$ и заднего $\pm f_{\alpha a}$ углов	$f_{\gamma a}$	—	AA	$\pm 5'$	$\pm 5'$	$\pm 5'$	$\pm 5'$
			A	$\pm 8'$	$\pm 8'$	$\pm 8'$	$\pm 8'$
			B	$\pm 12'$	$\pm 12'$	$\pm 12'$	$\pm 12'$
	$f_{\alpha a}$	—	AA	$\pm 3'$	$\pm 3'$	$\pm 3'$	$\pm 3'$
			A, B	$\pm 5'$	$\pm 5'$	$\pm 5'$	$\pm 5'$
7. Биение окружности вершин зубьев $f_{rrao}$ 	$f_{rrao}$	до 50	A	12	16	16	—
			B	20	25	25	—
		Свыше 50 до 125	AA	10	12	12	—
			A	16	20	20	—
		Свыше 125 до 200	B	25	32	32	—
			AA	—	16	16	20
	A	—	25	25	32		
	A	—	40	40	50		
8. Отклонение диаметра окружности вершины зубьев $f_{dao}$	$f_{dao}$	До 50	A	$\pm 320$	$\pm 320$	—	—
			B				
		Свыше 50 до 200	AA	$\pm 320$	$\pm 400$	$\pm 500$	$\pm 600$
			A	$\pm 320$	$\pm 400$	$\pm 500$	$\pm 600$
			B	$\pm 400$	$\pm 500$	$\pm 500$	$\pm 600$

Продолжение табл. П.1.2

Наименование и обозначение проверяемых параметров	Обозначение допусков	Номинальный делительный диаметр, мм	Класс точности	Модуль, мм			
				От 1 свыше 3,5	Свыше 3,5 до 6,3	Свыше 6,3 до 10	Свыше 10
				Допуски и предельные отклонения, мкм			
9. Погрешность профиля немодифицированного участка не на режущей кромке  1 – действительный торцовый активный профиль зуба; 2 – номинальные торцовые профили зуба; 3 – основная окружность; 4 – границы активного профиля зуба	$f_{po}$	–	AA	3	4	6	6
			A	4	7	10	10
			B	8	12	16	20
10. Отклонение высоты головки зуба  Разность между действительной и минимальной высотой головки зуба	$f_{hao}$	–	AA A B	±18	±32	±50	±50
11. Разность соседних окружных шагов. Алгебраическая разность отклонений двух соседних окружных шагов по контрольной окружности	$f_{uo}$	–	AA	3	4	4	5
			A	5	6	6	8
			B	8	10	10	12



Наименование и обозначение проверяемых параметров	Обозначение допусков	Номинальный делительный диаметр, мм	Класс точности	Модуль, мм			
				От 1 свыше 3,5	Свыше 3,5 до 6,3	Свыше 6,3 до 10	Свыше 10
				Допуски и предельные отклонения, мкм			
12. Накопленная погрешность окружного шага. Наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей в пределах оборота долбяка 	$F_{por}$	—	AA	9	11	11	14
			A	14	18	18	22
			B	20	24	30	36
13. Радиальное биение зубчатого венца  Разность действительных предельных положений исходного контура в пределах оборота долбяка	$f_{ro}$	До 50	A	14	16	—	—
			B	20	26	—	—
		Свыше 50 до 125	AA	12	14	14	—
			A	16	20	20	—
		Свыше 125 до 200	B	24	32	32	—
			AA	—	18	18	20
			A	—	24	24	24
		B	—	36	36	40	

*Примечание.* Для хвостовых долбяков пп. 5, 7, 13 проверяют относительно поверхностей центровых отверстий.

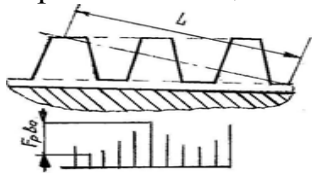
**Технические требования к червячным фрезам  
по ГОСТ 9324–80**


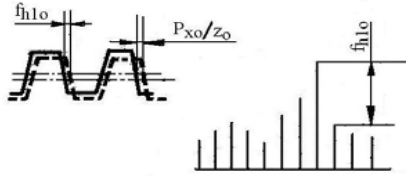
1. Фрезы изготавливают трех типов и четырех классов точности.  
Тип 1 – фрезы цельные прецизионные класса точности *AA*.  
Тип 2 – фрезы цельные общего назначения классов точности *A*, *B*, *C* и *D* модулей 1–14 мм и модулей 16–20 классов *AA* и *A*.  
Тип 3 – фрезы сборные общего назначения классов точности *A*, *B*, *C* и *D*.
2. Рекомендуемое назначение фрез:
  - класса *AA* – для колес 7-й степени точности;
  - класса *A* – для колес 8-й степени точности;
  - класса *B* – для колес 9-й степени точности;
  - класса *C* – для колес 10-й степени точности;
  - класса *D* – для колес 11-й степени точности.
3. Цельные фрезы (типы 1 и 2) и режущая часть сборных фрез (тип 3) изготавливаются из быстрорежущей стали. Карбидная неоднородность фрез не должна быть выше балла 4.
4. Твердость режущей части фрез должна быть HRC<sub>3</sub> 62...65. Твердость режущей части фрез из быстрорежущей стали с содержанием ванадия 3 % и более и кобальта 5 % и более должна быть выше на 1, 2 единицы HRC<sub>3</sub>.
5. Фрезы классов *AA*, *A* и *B* изготавливаются со шлифованным профилем. Шлифованная часть у фрез типа 1 и 2, обеспечивающая требуемую точность профиля, должна быть не менее 1/2 длины зуба, считая по наружному диаметру фрезы, для модулей до 4 мм и 1/3 длины зуба – для модулей свыше 4 мм.
6. Шероховатость не должна превышать значений, указанных в табл. П.2.1.
7. Неполные витки снимаются с таким расчетом, чтобы ширина верхней части зуба по всей его длине была не менее 0,5 модуля.
8. Предельные отклонения фрез по наружному диаметру, диаметру буртиков и общей длине не должны превышать  $h12$ .
9. Допустимые отклонения на изготовление фрез не должны превышать отклонений, приведенных в табл. П.2.2, в мкм.
10. Допускается изготавливать шпоночный паз с полем допуска по ширине  $B12$  и по высоте  $H14$ ; допуск симметричности шпоночного паза относительно оси по 12-й степени точности. Допуск зависимый.

## Допустимые значения шероховатостей

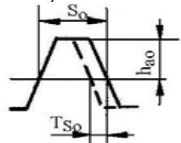
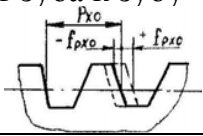
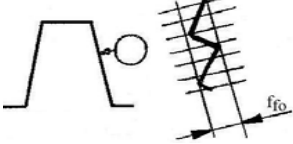
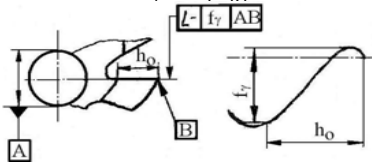
Наименование поверхностей, параметры шероховатости, мкм	Классы точности											
	AA			A			B			C, D		
	Модули, мм											
	От 1 до 3,5	Свыше 3,5 до 10	Свыше 10 до 25	От 1 до 3,5	Свыше 3,5 до 10	Свыше 10 до 25	От 1 до 3,5	Свыше 3,5 до 10	Свыше 10 до 25	От 1 до 3,5	Свыше 3,5 до 10	Свыше 10 до 25
Посадочное отверстие, $R_a$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	1,6
Передняя поверхность, $R_z$	1,6	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	6,3
Задняя боковая поверхность зуба, $R_z$	1,6	1,6	3,2	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	6,3
Задняя поверхность по вершинам зуба, $R_z$	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	6,3
Цилиндрическая поверхность буртика, $R_z$	1,6	1,6	3,2	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	6,3
Торец буртика, $R_a$	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6	1,6

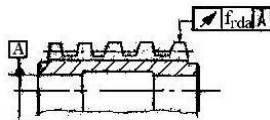
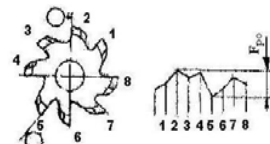
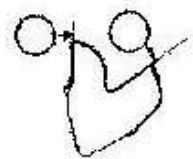
## Допуски и предельные отклонения параметров

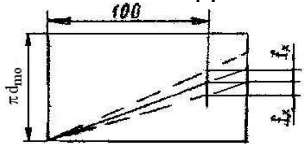
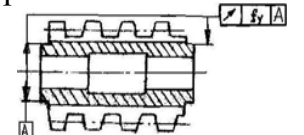
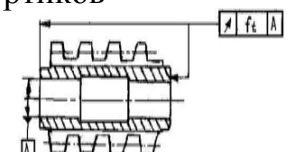
Проверяемые параметры	Обозначения	Классы точности	Модули, мм					
			1-2	Свыше 2 до 3,55	Свыше 3,55 до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 16	Свыше 16 до 20
1. Погрешность зацепления  Наибольшие отклонения точек режущих кромок, измеренные от зуба к зубу вдоль винтовой линии в направлении линии зацепления на всей ее длине	$F_{pbo}$	<i>AA</i>	8	10	12	16	20	25
		<i>A</i>	12	14	18	25	32	40
		<i>B</i>	16	22	28	40	50	63
		<i>C</i>	32	40	50	63	80	100
2. Наибольшая погрешность винтовой линии фрезы на одном обороте. Наибольшее отклонение в осевом направлении точек режущих кромок фрезы, лежащих на одном и том же цилиндре $d$ соосном с отверстием фрезы по отношению к теоретической винтовой линии	$f_{ho}$	<i>AA</i>	6	8	10	12	16	20
		<i>A</i>	10	12	14	20	25	32
		<i>B</i>	16	18	22	32	40	50
		<i>C</i>	25	32	40	50	63	80

Проверяемые параметры	Обозначения	Классы точности	Модули, мм					
			1–2	Свыше 2 до 3,55	Свыше 3,55 до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 16	Свыше 16 до 20
3. Наибольшая погрешность винтовой линии фрезы на трех оборотах 	$f_{h_{3o}}$	<i>AA</i>	8	10	14	16	25	32
		<i>A</i>	14	16	20	32	40	50
		<i>B</i>	25	28	32	50	63	80
		<i>C</i>	40	50	63	80	100	125
4. Наибольшая накопленная погрешность шага на длине любых трех соседних шагов	$f_{p_{x3o}}$	<i>A</i>	±8	±8	±10	±14	±16	±18
		<i>B</i>	±12	±15	±18	±22	±24	±30
		<i>C</i>	±18	±22	±28	±32	±38	±48
5. Наибольшая погрешность винтовой линии фрезы от зуба 	$f_{h_{1o}}$	<i>AA</i>	4	5	6	8	10	12
		<i>A</i>	6	8	10	12	16	20
		<i>B</i>	10	12	16	20	25	32
		<i>C</i>	16	20	25	32	40	50

Наибольшее отклонение в осевом направлении точек режущих кромок фрезы, лежащих на одном и том же цилиндре  $d_x$  соосном с отверстием фрезы по отношению к теоретической винтовой линии

Проверяемые параметры	Обозначения	Классы точности	Модули, мм					
			1-2	Свыше 2 до 3,55	Свыше 3,55 до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 16	Свыше 16 до 20
6. Толщина зуба 	$T_{s'0}$	AA	-16	-20	-25	-32	-40	-50
		A	-25	-32	-40	-50	-63	-80
		B	-32	-40	-50	-63	-80	-100
		C	-50	-63	-80	-100	-125	-160
		D	-80	-100	-125	-160	-200	-250
7. Наибольшая погрешность шага, измеренная вдоль одной из реек от зуба к зубу 	$f_{\rho x0}$	B	$\pm 8$	$\pm 10$	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 16$	$\pm 20$
		C	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 18$	$\pm 22$	$\pm 25$	$\pm 32$
		D	$\pm 22$	$\pm 25$	$\pm 32$	$\pm 40$	$\pm 50$	$\pm 70$
8. Отклонение профиля зуба 	$f_{f0}$	AA	5	6	8	10	12	16
		A	8	10	12	16	20	25
		B	12	16	20	25	32	40
		C	20	25	32	40	50	63
		D	40	50	63	80	100	125
9. Отклонение профиля передней поверхности от осевой плоскости, проходящей через вершину зуба, в радиальном направлении, на рабочей высоте зуба ( $h_o$ ) 	$f_{\gamma}$	AA	12	16	20	25	32	40
		A	20	25	32	40	50	63
		B	32	40	50	63	80	100
		C	63	80	100	125	160	200
		D	100	125	160	200	250	340

Проверяемые параметры	Обозначения	Классы точности	Модули, мм					
			1–2	Свыше 2 до 3,55	Свыше 3,55 до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 16	Свыше 16 до 20
10. Радиальное биение по вершинам зубьев 	$f_{rda}$	<i>AA</i>	12	16	20	25	32	40
		<i>A</i>	20	25	32	40	50	63
		<i>B</i>	32	40	50	63	80	100
		<i>C</i>	50	63	80	100	125	160
		<i>D</i>	80	100	125	160	200	250
11. Накопленное отклонение окружного шага стружечных канавок. Наибольшая алгебраическая разность значений накопленных отклонений в пределах одного оборота по окружности, близкой к средней расчетной 	$F_{po}$	<i>AA</i>	25	32	40	50	63	80
		<i>A</i>	40	50	63	80	100	125
		<i>B</i>	63	80	100	125	160	200
		<i>C</i>	125	160	200	250	315	400
		<i>D</i>	200	250	315	400	500	600
12. Накопленная разность соседних окружных шагов стружечных канавок в пределах оборота 	$f_{uo}$	<i>AA</i>	12	16	20	25	32	40
		<i>A</i>	20	25	32	40	50	63
		<i>B</i>	32	40	50	63	80	100
		<i>C</i>	63	80	100	125	160	200
		<i>D</i>	100	125	160	200	250	315

Проверяемые параметры	Обозначения	Классы точности	Модули, мм					
			1-2	Свыше 2 до 3,55	Свыше 3,55 до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 16	Свыше 16 до 20
13. Отклонение передней поверхности от осевой плоскости в осевом направлении на каждые 100 мм длины рабочей части фрезы 	$f_x$	<i>AA</i>	±63	±63	±63	±63	±50	±50
		<i>A</i>	±80	±80	±80	±80	±70	±70
		<i>B</i>	±100	±100	±100	±100	±100	±100
		<i>C</i>	±125	±125	±125	±125	±125	±125
		<i>D</i>	±160	±160	±160	±160	±160	±160
14. Радиальное биение буртиков 	$f_y$	<i>AA</i>	5	5	5	6	—	—
		<i>A</i>	6	6	8	8	12	12
		<i>B</i>	8	8	10	12	14	14
		<i>C</i>	10	12	12	20	20	20
		<i>D</i>	16	25	32	40	40	40
15. Торцовое биение буртиков 	$f_t$	<i>AA</i>	4	4	4	5	—	—
		<i>A</i>	5	5	6	8	10	10
		<i>B</i>	6	6	8	10	12	14
		<i>C</i>	8	10	12	12	16	16
		<i>D</i>	12	16	20	25	25	25
16. Отклонение диаметра посадочного отверстия	$f_d$	<i>AA</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>
		<i>A</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>	<i>H5</i>
		<i>D</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>
		<i>C</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>	<i>H6</i>
		<i>D</i>	<i>H7</i>	<i>H7</i>	<i>H7</i>	<i>H7</i>	<i>H7</i>	<i>H7</i>



*Примечания:*

1. Предельное отклонение посадочного отверстия должно быть выдержано на 60 % длины каждого посадочного пояска.

В зоне шпоночного паза на центральном углу, не превышающем по 25° от оси симметрии в обе стороны, допускается разбивка отверстия для фрез с продольным шпоночным пазом или увеличение торцового биения буртиков для фрез с торцовым пазом.

2. Контроль фрез классов точности *B* и *C* должен производиться по одной из трех групп проверок:

– 1-я группа –  $f_d; f_y; f_i; f_{rda}; f_\gamma; f_{uo}$  или  $F_{po}; f_x; T_{so}; F_{p\delta lo}; F_{p\delta o}$ .

– 2-я группа –  $f_d; f_y; f_i; f_{rda}; f_\gamma; f_{uo}$  или  $F_{po}; f_x; T_{so}; f_{fo}; f_{hlo}; f_{ho}; f_{h_3o}$ .

– 3-я группа –  $f_d; f_y; f_i; f_{rda}; f_\gamma; f_{uo}$  или  $F_{po}; f_x; T_{so}; f_{fo}; f_{pxo}; f_{px_3o}$ .

Контроль фрез классов точности *AA* и *A* должен производиться по 1-й или 2-й группам проверок, класса *D* – по 3-й группе проверок.

3. Разрешается изготавливать фрезы класса точности *A* модулем до 6 мм с допускаемым радиальным биением зубьев и буртиков, увеличенным на 20 % от установленного; фрезы классов точности *A* и *B* модулем до 16 мм – с допускаемым торцовым биением буртиков, увеличенным на 25 % от установленного.

## Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ

Метод обкаточного огибания, использованный при проектировании червячных зуборезных фрез и долбяков для нарезания колес с эвольвентным профилем зубьев, используется также и для изготовления деталей типа тел вращения с зубьями (шлицами), расположенными на наружной или внутренней поверхности и имеющими различную форму профиля в сечении, перпендикулярном к оси, а также деталей с многократно повторяющимся профилем, например, валов с фасонной поверхностью в осевом сечении и др. На рис. 78 приведено несколько примеров профилей таких деталей, которые при обработке по методу обката являются огибающими семейства профилей режущих кромок инструмента. Практическое применение нашли следующие инструменты, работающие по методу обката: червячные фрезы, долбяки и обкаточные резцы (рис. 79). Их достоинствами являются высокая производительность и точность формы изготавливаемых деталей. К недостаткам можно отнести возможность обработки деталей только данного типоразмера и высокую стоимость инструмента. Таким образом, они являются специальными инструментами и их применение экономически оправдано только в условиях крупносерийного и массового производств.

Наибольшее применение в машиностроении нашли червячные фрезы для нарезания фасонных зубьев на наружных поверхностях деталей: шлицевые валы, звездочки передач, храповые колеса и т. д.

Долбяки используются в основном для нарезания зубьев на внутренних поверхностях, а также на наружных поверхностях при работе «в упор», например, при наличии фланцев или на ступенчатых деталях. По производительности долбяки уступают червячным фрезам, но более эффективны при малой длине обработки [1], [2].

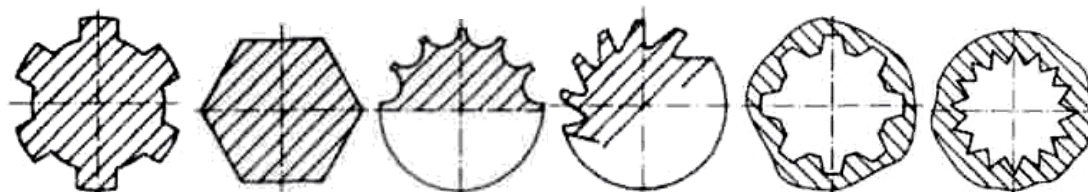


Рис. 78. Эскизы профилей деталей обрабатываемых методом обката

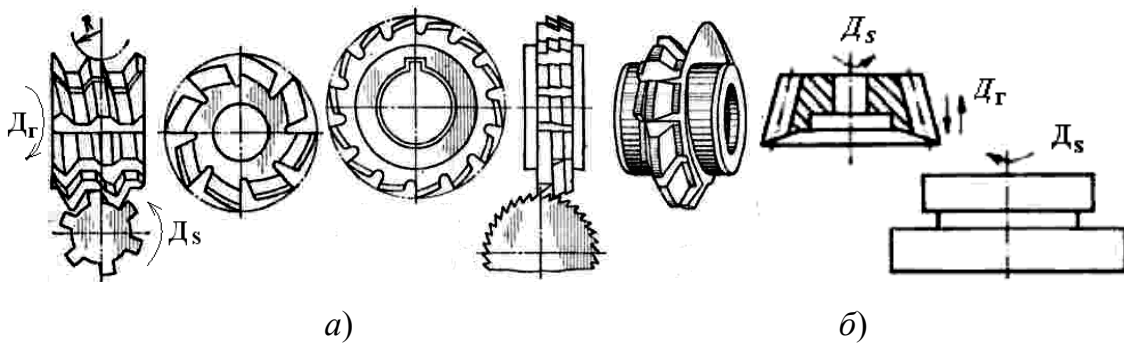


Рис. 79. Схемы обработки червячным (а) и долбежным (б) инструментами

*Цель работы:* изучение конструкции червячной фрезы и исследование ее параметров.

## Порядок выполнения работы

1. Произвести измерения основных размеров выданной преподавателем червячной фрезы: общую длину фрезы  $L$ ; размеры буртиков  $d_6$  и  $l_6$ ; диаметр посадочного отверстия  $d_0$ ; глубину канавки  $H_k$  (рис. 80).

2. Определить геометрические параметры зуба фрезы: передние и задние углы, угол подъема винтовой канавки, угол стружечной канавки.

2.1. Передний угол для чистовых червячных фрез чаще всего равен  $0^\circ$ , так как переднюю поверхность для уменьшения искажения профиля располагают радиально (рис. 81).

2.2. Задний угол можно определить измерением величины затывания зубьев фрезы  $K$ . Величину  $K$  определяют на шлифовальном участке профиля зуба. Фреза устанавливается на оправке в центрах и измерительный наконечник касается на задней поверхности в радиальном направлении с достаточным натягом (рис. 82).

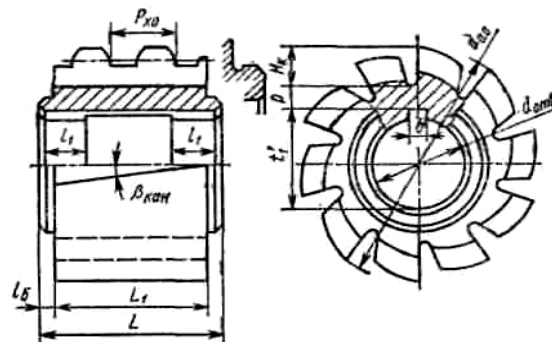


Рис. 80. Параметры червячной фрезы

Затем поворачивают фрезу на угол  $\tau' = 6 - 8^\circ$  и отмечают по шкале измерительной головки величину падения затылка  $K'$ . Величина затылования равна:

$$K = K' \frac{360^\circ}{\tau' Z_0},$$

где  $Z_0$  – число стружечных канавок фрезы.

Найденная величина  $K$  должна быть округлена до ближайшего из ряда значений, идущих через 0,5 мм.

Значение заднего угла  $\alpha_B$  рассчитывается по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{K Z_0}{\pi d_{ao}},$$

где  $d_{ao}$  – наружный диаметр фрезы.

Задние углы  $\alpha_{in}$  на боковых режущих кромках в нормальном сечении:

$$\operatorname{tg} \alpha_{in} = \frac{r_{ao}}{r_i} \operatorname{tg} \alpha_B \sin \delta_u \cos \omega_{ou},$$

где  $r_{ao}$  – наружный радиус фрезы;  $r_i$  – радиус окружности, проходящий через точку, для которой определяется угол  $\alpha_{in}$ ; где  $\delta_u = \varphi_u + \gamma_{\omega 1}$  – угол между касательной к профилю режущей кромки в рассматриваемой точке и линией, перпендикулярной к оси фрезы. Его величина может быть принята по данным расчета профиля режущей кромки или определена по следующей формуле:

$$\operatorname{tg} \delta_u = \frac{\omega_{ou}}{(r_{\omega 1} \varphi_u - x_y)},$$

где  $\operatorname{tg} \omega_{ou} = \frac{P_{xo}}{\pi d_{oy}}$  – угол подъема винтовой линии фрезы в рассматриваемой точке.

Затем строим график изменения заднего угла по длине режущей кромки зуба.

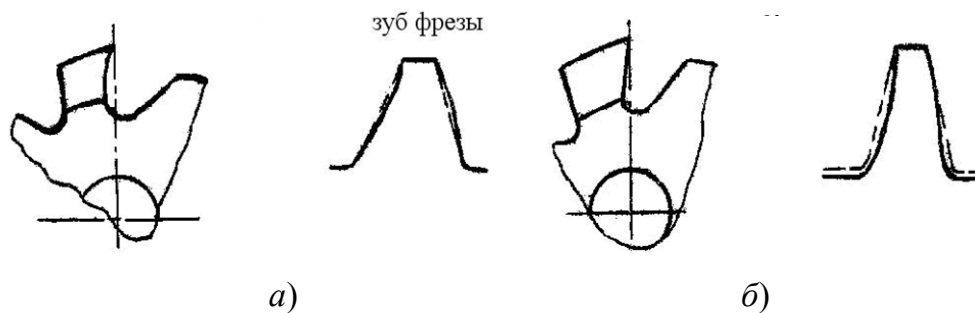


Рис. 81. Фрезы передней поверхности зуба фрезы:  
*a* – криволинейная; *б* – плоская

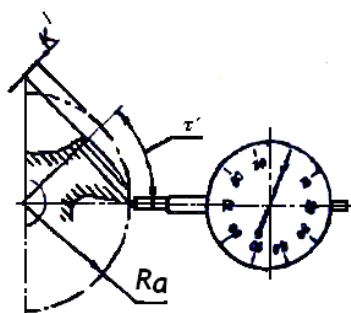


Рис. 82. Измерение величины затылования задних поверхностей фрезы

### 3. Определить размеры профиля обработанной поверхности.

Профиль обработанной поверхности необходимо построить в масштабе 10:1.

При построении изображают профиль зуба фрезы в принятом масштабе. Затем проводят начальную прямую и выбирают начальную окружность детали (рис. 83). При построении на начальной прямой откладывают расстояния  $P1'$ ,  $1'2'$ ,  $2'3'$ , ..., равные  $\cup P1$ ,  $\cup 12$ ,  $\cup 23$ , ... начальной окружности. Из точек  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ , ... проводят линии, параллельные нормалям, к последовательным положениям прямой профиля детали, опущенным из полюса зацепления  $P$ . Наносят прямые, параллельные начальной прямой, из точек пересечения нормалей с последовательными положениями прямой профиля детали. На пересечении рассматриваемых линий построения находятся точки профиля инструмента в его начальном положении.

### 4. Определить параметры фрезы.

Профиль зубьев фрезы в нормальном сечении определяется следующими размерами (рис. 84, 85). Высота головки зуба фрезы от ее начальной прямой, если не корректируется в соответствии с указанной ниже величиной переходной кривой, равна  $h_{a0} = h_{f1} = r_{\omega 1} - r_{f1}$ .

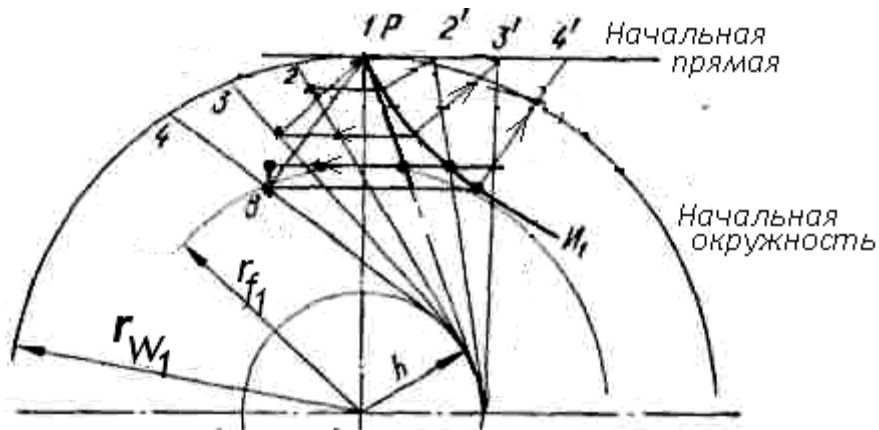


Рис. 83. Схема графического профилирования

**4.1.** Шаг зубьев фрезы равен:

$$P_{n\omega 0} = P_1 = \frac{\pi d_{\omega 1}}{z_1}.$$

**4.2.** Толщина зуба по начальной прямой рейки равна:

$$\bar{S}_{n\omega 0} = P_{n\omega 0} - S_{\omega 1} = P_{n\omega 0} - d_{\omega 1} \varphi,$$

где  $2\varphi$  – центральный угол толщины зуба (шлица) по начальной окружности:

$$\sin \varphi = \frac{B_{\omega 1}}{d_{\omega 1}},$$

где  $B_{\omega 1}$  – ширина шлица вала по начальной окружности.

**4.3.** Проверить следующие соотношения.

Глубина стружечных канавок фрез:

– с нешлифованной задней поверхностью:

$$H = h + K + r + (0,5...1,0);$$

– со шлифованной задней поверхностью:

$$H = h + \frac{K + K_1}{2} + r + (0,5...1,0),$$

где  $r = 1...4$  мм – радиус дна стружечной канавки.



Угол стружечной канавки принимается из конструктивных и технологических соображений в зависимости от числа зубьев фрезы:  $\theta = 25$  или  $30^\circ$  при  $z_0 \leq 8$ ;  $\theta = 22^\circ$  при  $z_0 = 10$ ;  $\theta = 18^\circ$  при  $z_0 \geq 12$ .

Диаметр отверстия под оправку выбирают из соотношения:

$$d \leq 0,625(d_{a0} - 2H),$$

причем

$$0,5d_{a0} - H - (C_1 - d/2) \geq 0,3d,$$

где  $C_1$  – размер отверстия по шпоночному пазу (по ГОСТ 9472–90).

Диаметр буртика  $d_1 = d_{a0} - 2H - (2...5)$ .

Расчетный диаметр условного среднего цилиндра фрезы:

$$d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - 0,3K.$$

Угол подъема винтовой линии фрезы:

$$\gamma_{m0} = \arcsin \frac{P_{n\omega 0}}{\pi d_{m0}}.$$

Длина рабочей части фрезы:

$$l_p = \sqrt{r_{l1}(d_{a1} - r_{l1})} + (0,5...2,0)p_{n0}.$$

**5.** Измерить основные показатели технических требований (приложение 1) и сделать заключение о классе точности червячной фрезы.

**6.** Изобразить схему переточки фрезы.

Режущие элементы фрез изнашиваются по задней и передней поверхностям [3].

Обычно лимитирующим износом, влияющим на точность и шероховатость обработанных поверхностей, является износ у вершины зуба по задней поверхности –  $h_3$  (табл. 28), величина которого определяет припуск  $h$ , мм, при заточке инструмента по передней поверхности:  $h = h_3 + (0,1...0,15)$ .

Для заточки червячной фрезы по передней поверхности необходимы подача на врезание, деление на зуб, продольная подача и относительный поворот образующей для формообразования винтовой поверхности (рис. 86).

При заточке фрез с прямолинейными стружечными канавками дополнительного поворота не требуется, так как винтовая передняя поверхность становится плоской и ее можно шлифовать торцом абразивного инструмента.



## Допустимый износ по задней поверхности зуборезных инструментов, мм

Обрабатываемый материал	Зуборезный инструмент	Обработка	
		предварительная	чистовая
Сталь	Фрезы: дисковая	0,8–1	0,2–0,4
	червячная	1–1,5	
	Долбяк дисковый	0,8–1	0,1–0,25
Чугун	Фреза червячная	0,6–0,8	0,2–0,4
	Долбяк дисковый	0,8–1	0,1–0,25

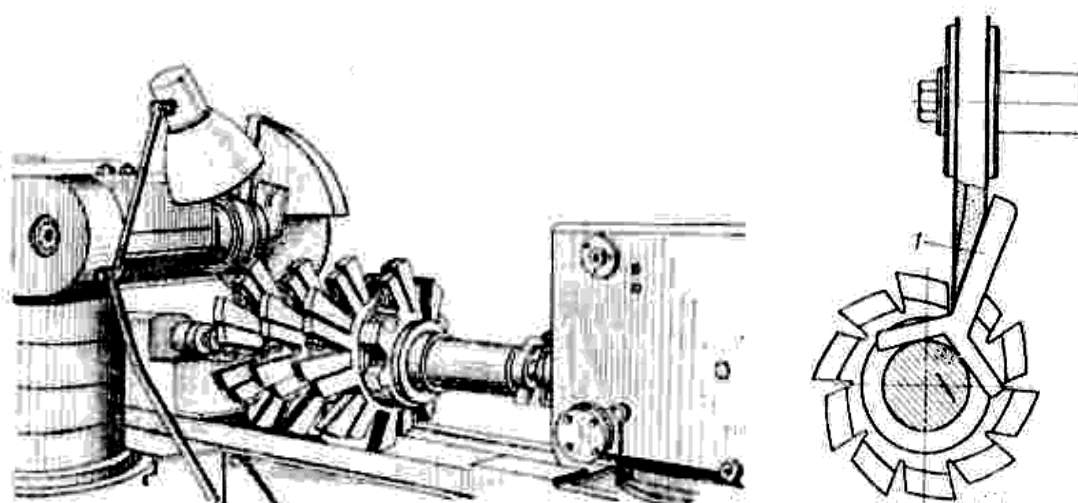


Рис. 86. Схемы переточки червячной шлицевой фрезы

Конструкция станка для заточки таких фрез значительно упрощается, а точность обработки на нем и жесткость системы повышаются. Съем припуска осуществляется по схеме многопроходного шлифования с делением на зуб после каждого двойного хода. Продольная подача может осуществляться либо подвижным столом, на котором устанавливается фреза, либо подвижной шлифовальной бабкой. Обе схемы используются в разных моделях станков.

При заточке фрез с винтовыми стружечными канавками дополнительное вращательное движение фрезы осуществляется поворотом шпинделя с помощью одного из следующих устройств: синусной линейки, шестеренчато-реечной зубчатой передачи, шарикового винта, специального электрогидравлического следящего привода.

Переднюю поверхность фрез с винтовыми стружечными канавками шлифуют конической поверхностью тарельчатого абразивного инструмента с углом профиля  $15\text{--}20^\circ$  и более при малых модулях ( $m < 2$  мм) или при определенных погрешностях по радиальности пе-

редней поверхности (для класса точности  $A \ t \leq 4$  мм, для класса точности  $AA \ t \leq 8$  мм). Это связано с тем, что угол подъема винтовых линий на фрезе зависит от размера цилиндрической поверхности. Угол подъема винтовой линии на среднем диаметре фрезы меньше угла подъема винтовых линий для точек профиля на вершине зуба и больше – для точек профиля во впадине зуба. В связи с этим прямолинейная образующая конического абразивного инструмента при заточке срезает часть металла на передней поверхности и ее образующая становится выпуклой вместо прямолинейной.

Во избежание подобного подрезания образующая абразивного инструмента должна иметь криволинейный выпуклый профиль, который достигается правкой абразивного инструмента по копиру.

Выбрать марки абразивных инструментов для затачивания фрезы [3].

### **Структура отчета**

1. Цель работы.
2. Схемы обработки инструментом.
3. Схемы формообразования и срезания припуска.
6. Расчеты и результаты измерений конструктивных элементов червячной фрезы.
7. Схема перетачивания червячной фрезы с марками абразивных инструментов.
8. Рабочий чертеж (эскиз) червячной фрезы.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите марки материалов, из которых изготавливают инструмент.
2. Приведите определения углов инструмента и критерии их выбора.
3. Приведите соотношение для расчета угла подъема витков.
4. Приведите соотношение для расчета задних углов на боковых режущих кромках в нормальном сечении.

## Литература

1. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.

2. Фельдштейн, Е. Э. Metallорезущие инструменты : справ. конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание, 2009. – 1039 с.

3. Попов, С. А. Заточка и доводка режущего инструмента / С. А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.

## Приложения к лабораторной работе № 7

### Приложение 1

#### Технические требования к червячным фрезам по ГОСТ 9324–80

1. Цельные фрезы (типы 1 и 2) и режущая часть сборных фрез (тип 3) изготавливаются из быстрорежущей стали. Карбидная неоднородность фрез не должна быть выше балла 4.

2. Твердость режущей части фрез должна быть HRC<sub>3</sub> 62–65. Твердость режущей части фрез из быстрорежущей стали с содержанием ванадия 3 % и более и кобальта 5 % и более должна быть выше на 1, 2 единицы HRC<sub>3</sub>.

3. Шероховатость не должна превышать значений, указанных в табл. П.2.1 приложения 2.

4. Предельные отклонения фрез по наружному диаметру, диаметру буртиков и общей длине не должны превышать  $h12$ .

5. Допустимые отклонения на изготовление фрез не должны превышать отклонений, приведенных в табл. П.2.2, в мкм, приложения 2.

6. Допускается изготавливать шпоночный паз с полем допуска по ширине  $B12$  и по высоте  $H14$ ; допуск симметричности шпоночного паза относительно оси по 12-й степени точности. Допуск зависимый.

Таблица П.1.1

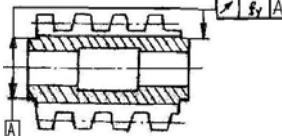
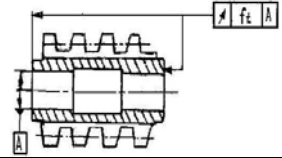
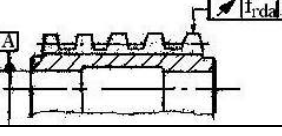
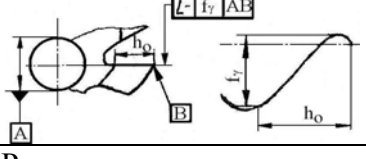

**Параметр  $R_a$  шероховатости поверхностей червячных фрез  
для шлицевых валов с прямобочным профилем, мкм (ГОСТ 8027–86)**

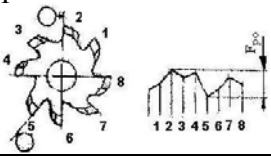
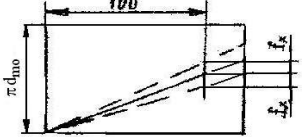
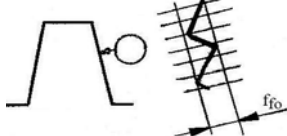
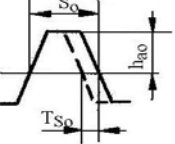
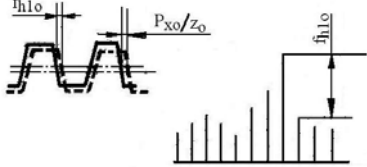
Поверхности	Классы точности фрезы		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Посадочное отверстие	0,32	0,63	0,63/1,25
Передняя поверхность	0,63		1,25
Задняя боковая поверхность и поверхность по вершине зуба	0,32/0,63	0,63	1,25
Цилиндрическая поверхность буртиков	0,32/0,63	0,63	0,63/1,25
Поверхность торцов буртиков	0,63		0,63/1,25

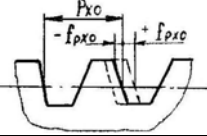

*Примечание.* В знаменателе указаны значения для фрез с нормальным шагом зубьев свыше 12 мм.

Таблица П.1.2

**Допуски и предельные отклонения параметров червячных фрез  
для шлицевых валов с прямобочным профилем (ГОСТ 8027–86)**

Параметр	Обозначение	Класс точности фрезы	Нормальный шаг зубьев, мм				
			До 6,3	6,6...11	11...19	19...32	Свыше 32
			Допуски и предельные отклонения, мкм				
Диаметр посадочного отверстия	$f_d$	A B, C	H5 H6				
Радиальное биение буртиков 	$f_r$	A B C	5 6 10	5 8 12	6 10 16	8 12 20	10 16 25
Торцовое биение буртиков 	$f_t$	A B C	3 4 8	4 6 10	5 6 12	6 8 16	8 10 20
Радиальное биение по наружному диаметру 	$f_{rda}$	A B C	20 32 63	25 40 80	32 50 100	40 63 125	50 80 160
Прямолинейность передней поверхности на рабочей высоте зуба 	$f_f$	A B C	20 32 63	25 40 80	32 50 100	40 63 125	50 80 160
Разность соседних окружных шагов стружечных каналов 	$f_{uo}$	A B C	20 32 63	25 40 80	32 50 100	40 63 125	50 80 160

Параметр	Обозначение	Класс точности фрезы	Нормальный шаг зубьев, мм				
			До 6,3	6,6...11	11...19	19...32	Свыше 32
			Допуски и предельные отклонения, мкм				
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок в пределах оборота 	$F_{po}$	A	40	50	63	80	100
		B	63	80	100	125	160
		C	125	160	200	250	315
Отклонение стружечных канавок от номинального расположения, отнесенное на 100 мм рабочей части фрезы 	$f_x$	A	±80				
		B	±100				
		C	±125				
Отклонение профиля зуба (только в плюс) 	$f_{fo}$	Не более 2/3 поля допуска на толщину зубьев вала на расстоянии 0,2 мм от наружного диаметра и не более 1/3 на высоте $h_0/2$					
Отклонение толщины зуба, измеренное на высоте головки в нормальном сечении 	$T_{s0}$	Не более 1/3 поля допуска на толщину зубьев вала					
Отклонение винтовой линии фрезы на одном обороте 	$F_{hlo}$	A	10	12	16	20	25
		B	16	20	25	32	40
		C	32	40	50	63	80

Параметр	Обозначение	Класс точности фрезы	Нормальный шаг зубьев, мм				
			До 6,3	6,6...11	11...19	19...32	Свыше 32
			Допуски и предельные отклонения, мкм				
Отклонения осевого шага зубьев 	$f_{pxo}$	A	±8	±9	±10	±10	±12
		B	±12	±16	±18	±18	±20
		C	±20	±25	±28	±32	±40
Отклонения осевого шага между зубьями ( $n = 3$ при шаге до 20 мм; $n = 2$ при шаге свыше 20 мм) 	$f_{pxo}$	A	±16	±18	±20	±20	±25
		B	±25	±32	±36	±36	±40
		C	±40	±50	±56	±56	±63

**Примечания:**

1. Предельное отклонение посадочного отверстия должно быть выдержано на 60 % длины каждого посадочного пояска.

В зоне шпоночного паза на центральном углу, не превышающем по 25° от оси симметрии в обе стороны, допускается разбивка отверстия для фрез с продольным шпоночным пазом или увеличение торцового биения буртиков для фрез с торцовым пазом.

2. Контроль фрез классов точности B и C должен производиться по одной из трех групп проверок:

- 1-я группа –  $f_d; f_y; f_i; f_{rda}; f_\gamma; f_{uo}$  или  $F_{po}; f_x; T_{so}; F_{pbo}; F_{pbo}$ .
- 2-я группа –  $f_d; f_y; f_i; f_{rda}; f_\gamma; f_{uo}$  или  $F_{po}; f_x; T_{so}; f_{fo}; f_{hlo}; f_{ho}; f_{h_o}$ .
- 3-я группа –  $f_d; f_y; f_i; f_{rda}; f_\gamma; f_{uo}$  или  $F_{po}; f_x; T_{so}; f_{fo}; f_{pxo}; f_{px_o}$ .

Контроль фрез классов точности AA и A должен производиться по 1-й или 2-й группам проверок, класса D – по 3-й группе проверок.

3. Разрешается изготавливать фрезы класса точности A модулем до 6 мм с допуском радиальным биением зубьев и буртиков, увеличенным на 20 % от установленного; фрезы классов точности A и B модулем до 16 мм – с допуском торцовым биением буртиков, увеличенным на 25 % от установленного.

## Лабораторная работа № 8 АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Абразивные инструменты – это режущие инструменты, изготовленные из зерен шлифовальных материалов, сцепленных между собой связующим веществом (связкой) и разделенных друг от друга порами.

В отличие от лезвийных инструментов абразивные инструменты не имеют сплошных режущих кромок, так как многочисленные абразивные зерна находятся на некотором расстоянии друг от друга. Зерна расположены хаотично и имеют неправильную геометрическую форму с отрицательными передними углами. Процесс резания абразивными инструментами заключается в срезании отдельными зернами тонкого слоя материала заготовки. При этом высокие твердость и теплостойкость абразивных зерен дают возможность обработки очень твердых материалов на высоких скоростях резания.

Абразивные инструменты классифицируют по следующим признакам: 1) по геометрической форме – диски, головки, сегменты, бруски, абразивные ленты, шкурки и др.; 2) по роду материала – абразивные, алмазные, эльборовые и др.; 3) по виду основы – жесткая; гибкая (эластичные диски, абразивные ленты, шкурки на магнитной основе и др.); жидкая (пасты, суспензии) (рис. 87) [1].

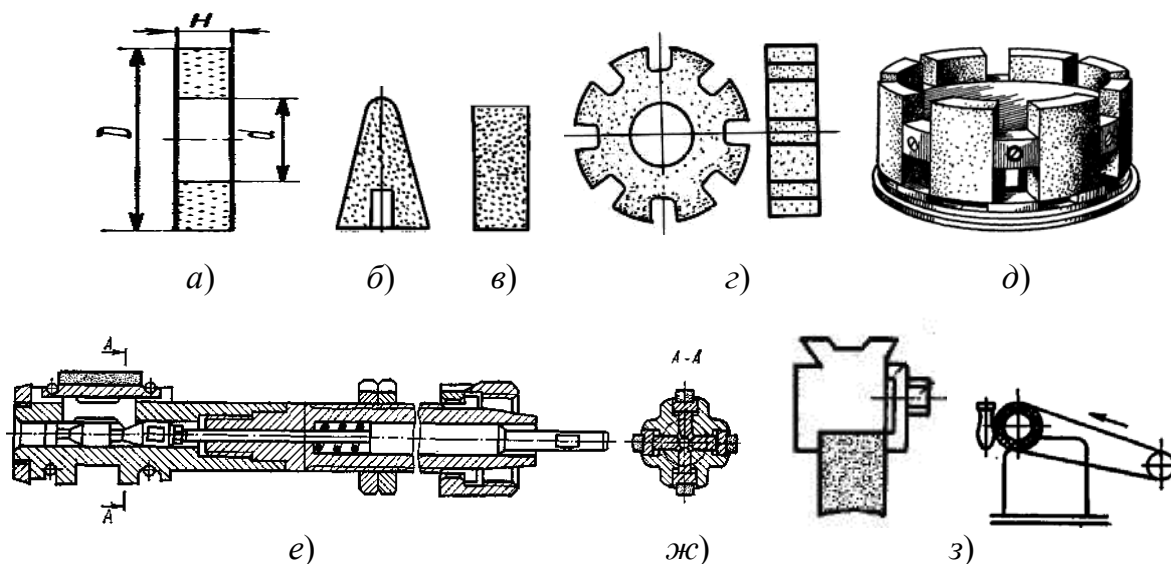


Рис. 87. Эскизы абразивных инструментов:

а – абразивный диск; б – головка; в – брусок; з – инструмент с прерывистой поверхностью; д – сборный инструмент; е – хон; ж – головка для суперфиниша; з – ленточный инструмент



*Цель работы:* получение навыков анализа параметров абразивного инструмента.

## Порядок выполнения работы

1. Получить исходные данные у преподавателя (абразивный инструмент, вид его рабочей поверхности или марку инструмента и т. д.).

2. Изобразить возможные схемы обработки полученным инструментом.

3. Определить наиболее рациональные технологические возможности абразивного инструмента.

3.1. Определить области применения по абразивному материалу и зернистости с указанием влияния их на процесс обработки (табл. 29, 30).

*Таблица 29*

**Связь абразивных материалов с видами обработки**

Материал	Марка материала	Область применения
Алмаз природный	A1, A2, A3, A5, A8*	Окончательное шлифование, резка, доводка твердых сплавов, бетона, керамики, стекла инструментами на металлической связке. Правка шлифовальных инструментов
Алмаз синтетический	AC2, AC4, AC6, AC15, AC20, AC32, AC50, APC3	Окончательное шлифование, резка, доводка, хонингование и отделка твердых сплавов, чугунов, керамики, железобетона, стекла инструментом на металлической и органической связках. Правка шлифовальных инструментов
Эльбор	ЛО, ЛД, ЛП, ЛКВ	Окончательная обработка высокоточных заготовок из подшипниковых, инструментальных и труднообрабатываемых закаленных сталей инструментами из абразивных порошков и микропорошков на всех связках. Отделочные работы незакрепленным зерном и шлифовальной шкуркой
Электрокорунд нормальный	13А	Обдирочное шлифование стальных заготовок абразивным инструментом на органических связках. Отделочные работы незакрепленным зерном.
	14А	Шлифование стальных заготовок инструментами на органических и неорганических связках

Материал	Марка материала	Область применения
Электрокорунд нормальный	15А	Отделочные работы шкуркой, скоростное шлифование инструментами на керамической и бакелитовой связках
Электрокорунд белый	23А	Шлифование стальных заготовок инструментами из абразивных зерен и порошков на органической связке. Отделка стальных заготовок незакрепленным зерном, пастами и брусками
	24А	Шлифование стальных закаленных заготовок, брусками из абразивных порошков на всех связках. Отделочные работы абразивной шкуркой
	25А	Скоростное шлифование, доводка стальных закаленных заготовок инструментами, брусками из абразивного зерна, порошков и микропорошков на керамических связках. Шлифование труднообрабатываемых сталей и сплавов. Отделочные работы абразивной шкуркой
Электрокорунд хромистый	33А, 34А	Шлифование, доводка и отделка изделий из углеродистых и конструкционных сталей в незакаленном и закаленном состоянии
Электрокорунд титанистый	37А	Скоростное шлифование стальных заготовок инструментами на керамической и бакелитовой связках
Электрокорунд циркониевый	38А	Обдирочное силовое шлифование стальных заготовок инструментами на бакелитовой связке при высоких скоростях и подачах
Монокорунд	43А	Шлифование и заточка труднообрабатываемых сталей и сплавов инструментами из абразивного зерна и порошков на керамических связках
	44А, 45А	Отделка и доводка незакрепленным зерном и абразивной шкуркой
Электрокорунд хромотитанистый	91А, 92А	Шлифование на получистовых и чистовых режимах закаленных изделий из углеродистых, конструкционных, быстрорежущих и труднообрабатываемых сталей абразивным инструментом на всех связках
	93А, 94А	Шлифование стальных закаленных и незакаленных заготовок абразивным инструментом на керамической и бакелитовой связках

Материал	Марка материала	Область применения
Карбид кремния черный	53С	Отделка и доводка чугунных заготовок из цветных металлов и их сплавов незакрепленными микропорошками
Карбид кремния черный	53С, 54С	Обработка заготовок из чугуна цветных металлов и вольфрамовых твердых сплавов инструментами из абразивных порошков и микропорошков на всех связках. Шлифование, отделка и доводка незакрепленным зерном и абразивной шкуркой
Карбид кремния зеленый	62С	Обработка заготовок из чугунов, меди, алюминия, гранита, мрамора инструментами из абразивных порошков на всех связках. Отделка и доводка незакрепленным зерном и абразивной шкуркой
	63С	Обработка титановых и титано-танталовых твердых сплавов инструментами из абразивного зерна на всех связках. Отделка и доводка абразивной шкуркой
	64С	Обработка заготовок из чугуна, алюминия, гранита, мрамора инструментами из абразивного зерна и микропорошков на всех связках. Скоростное шлифование заготовок из чугунов кругами на керамической связке. Отделка и доводка незакрепленным зерном и абразивной шкуркой
Смесь из карбида кремния зеленого и черного	63С (60 %) + 54С (40 %)	Обработка заготовок из твердых сплавов, чугунов и цветных металлов
Карбид бора	КБ	Шлифование, отделка и доводка незакрепленным зерном деталей из твердых сплавов и чугунов

\* Обозначение алмазных порошков (ГОСТ 9606–80): А – из природных дробленых алмазов, содержащих не менее 10, 20, 30, 50 и 80 % зерен изомерической формы; АС – из синтетических алмазов с повышением прочности от марки АС2 к АС50; АР – из синтетических поликристаллических алмазов типа «балласт», «карбонадо», «спеки».

**Связь зернистости абразивного инструмента  
с методами и видами обработки**

<b>Зернистость инструмента</b>	<b>Применение</b>
160 и более	Обдирочное силовое шлифование заготовок в металлургической промышленности
125–80	Обдирочные операции: зачистка заготовок, отливок, поковок, штампованных заготовок
80–50	Плоское шлифование торцом абразивного инструмента, заточка средних и крупных резцов, правка абразивного инструмента, отрезка
63–25	Предварительное и комбинированное шлифование (предварительное и окончательное шлифование выполняются без съема заготовки со станка), заточка режущего инструмента
32–16	Чистовое шлифование, обработка профильных поверхностей, заточка мелкого инструмента, шлифование хрупких материалов
12–6	Отделочное шлифование, доводка твердых сплавов, заточка тонких лезвий
6–4	Отделочное шлифование металлов, стекла, мрамора и тому подобного, резьбошлифование, чистовое хонингование
М40 и мельче	Суперфиниширование, окончательное хонингование, доводка тонких лезвий и мерительных поверхностей калибров, резьбошлифование с мелким шагом

Зернистость абразивного порошка и зерна обозначают как 1/10 размера стороны ячейки сита (в свете), мкм, на котором задерживаются зерна основной фракции. Для алмазных и эльборовых порошков зернистость обозначают дробью, у которой числитель соответствует размеру стороны ячеек верхнего сита, мкм, а знаменатель – размеру стороны ячеек нижнего сита, мкм, для основной фракции, например, 400/250; 400/315; 160/100; 160/125. Зернистость эльбора иногда обозначают традиционно по размеру ячеек только нижнего сита, например, Л20, Л16, Л10.

Процентное содержание основной фракции обозначают индексами В, П, Н, Д, которыми дополняют обозначение зернистости. Например, для зернистостей от 200 до 8 минимальное содержание основной фракции в соответствии с индексами следующее: В – 60 %; П – 55 %; Н – 45 %; Д – 41 %, для зернистостей М63–М28, соответственно, В – 60 %; П – 50 %; Н – 45 %; Д – 43 %.

С уменьшением размера абразивных зерен повышается их режущая способность за счет уменьшения радиусов округления зерен, а

также уменьшается износ отдельных зерен из-за возрастания их числа на единицу рабочей поверхности. Однако уменьшение размера зерен приводит к значительному уменьшению пор абразивного инструмента, что вызывает необходимость снижения глубины шлифования и припуска, снимаемого на операции. Чем мельче абразивные зерна в инструменте, тем меньше в единицу времени снимают материала с обрабатываемой заготовки.

Мелкозернистые инструменты обладают меньшей способностью к самозатачиванию по сравнению с инструментом более крупной зернистости, в результате чего быстрее притупляются и засаливаются.

**3.2.** В зависимости от твердости инструмента выбрать вид работ и изобразить схемы обработки со свойствами обрабатываемого материала (табл. 31).

При анализе твердости инструмента необходимо руководствоваться следующими положениями:

1. Твердость абразивного инструмента выбираем в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Твердые материалы скорее истирают абразивные зерна, затапливают их. Удаление затапившихся зерен быстрее происходит в сравнительно мягких кругах. Поэтому для обработки твердых материалов следует применять абразивные инструменты низкой степени твердости, а для обработки материалов невысокой твердости – более твердые. Исключение составляют медь, алюминий, свинец, коррозионно-стойкие и жаропрочные стали, которые шлифуют мягким по твердости инструментом. При обработке вязких материалов отходы шлифования заполняют поры абразивного инструмента, и он становится из-за этого непригодным для работы. Необходима правка, хотя абразивные зерна в этом случае могут быть еще очень острыми.

2. С увеличением площади контакта между кругом и заготовкой давление на единицу площади инструмента уменьшается и, следовательно, обновление затапившихся зерен затрудняется. В этом случае необходимо использовать более мягкий инструмент.

3. Чем больше окружная скорость абразивного инструмента при прочих неизменных условиях, тем более мягким его следует применять. При интенсивных режимах работы (при большой скорости заготовки и поперечной подаче) применяют более твердые инструменты.

4. Для предварительных операций используют более твердые инструменты, чем для чистовых.

**Связь твердости абразивного инструмента  
с методами и видами обработки**

Степень твердости инструмента	Применение
ВТ1–ЧТ2	Правка абразивных, алмазных и эльборных инструментов. Шлифование шариков шарикоподшипников и деталей часовых механизмов
СТ2–Т2	Обдирочные операции, ведущиеся вручную (обработка крупных отливок и поковок). Отрезка абразивными дисками, прорезка канавок. Круглое наружное шлифование методом врезания; при необходимости – сохранить профиль инструмента (например, обработка на однокруговых станках шеек коленчатых валов); бесцентровое шлифование (ведущие абразивные дисковые инструменты); хонингование отверстий небольших диаметров
С2–СТ2	Предварительное круглое наружное и бесцентровое шлифование сталей (преимущественно, незакаленных) и ковкого чугуна
С1–СТ1	Плоское шлифование сегментами и кольцевыми абразивными инструментами на бакелитовой связке. Хонингование и резьбошлифование инструментами на бакелитовой связке
С2–СТ1	Профильное шлифование, обработка прерывистых поверхностей
СМ1–С2	Чистовое и комбинированное круглое, наружное, бесцентровое и внутреннее шлифование стали, шлифование периферией абразивного инструмента, резьбошлифование деталей с крупным шагом
С1–С2	Заточка режущих инструментов вручную
СМ1–СМ2	То же с механической или автоматической подачей
М2–СМ2	Плоское шлифование торцом абразивного инструмента
М2–М3	Заточка и доводка режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, шлифование труднообрабатываемых специальных сплавов

5. При шлифовании всухую следует использовать более мягкие инструменты, чем при работе с охлаждением.

6. При шлифовании неровных, прерывистых поверхностей применяют более твердые инструменты, чем при шлифовании ровных, без разрывов поверхностей.

7. На автоматических станках виброустойчивых и жестких конструкций со спокойным ходом шпинделя применяют более мягкие инструменты, чем на станках с ручными подачами.

8. Мелкозернистые инструменты должны быть относительно меньшей твердости, а крупнозернистые – большей.

9. При заточке лезвий закаленных инструментов, шлифовании и заточке пластинок из твердых сплавов, при обработке поверхностей изделий, плохо отводящих теплоту, тонких с отверстиями (типа труб) и тому подобных, применяют мягкие абразивные инструменты.

10. При одинаковых условиях шлифования абразивные инструменты на бакелитовой связке должны быть на две степени тверже инструментов на керамической связке.

11. Мягкие абразивные инструменты экономичнее твердых, так как реже их правят, и они позволяют вести обработку с более интенсивными режимами. Однако твердость их не должна быть столь низкой, чтобы они быстро изнашивались и теряли форму.

**3.3.** В зависимости от структуры выбрать вид работ и изобразить схемы обработки (рис. 88, табл. 31).

На выбор структуры инструмента влияют следующие факторы:

– физико-механические свойства обрабатываемого материала (мягкие материалы с небольшим сопротивлением разрыву обрабатываются кругами открытых структур, твердые с мелкозернистым строением и хрупкие материалы – кругами закрытых структур);

– требуемое качество отделки (для чистовой обработки следует использовать абразивные инструменты более закрытых структур, чем для предварительной или грубой обработки; для обдирки со значительным припуском рекомендуется использовать инструменты открытых структур);

– давление при шлифовании (при больших давлениях следует применять абразивные инструменты средней и закрытой структур).

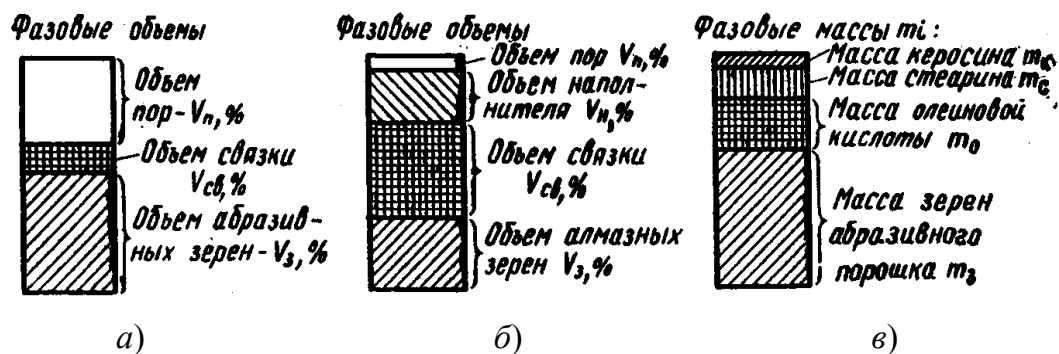


Рис. 88. Фазовый состав абразивных инструментов и паст:

а – инструменты из обычных абразивов; б – инструменты из алмаза и эльбора;

в – доводочная паста

Выбор структуры абразивного инструмента осуществляют согласно табл. 32.

Таблица 32

**Связь структур абразивных инструментов  
с методами и видами обработки**

Номер структуры	Применение
3–4	Профильное шлифование; при необходимости – сохранить профиль инструмента, шлифование при больших, а также переменных нагрузках, отрезка
5–6	Круглое наружное шлифование, бесцентровое шлифование, плоское шлифование периферией абразивного инструмента и заточка лезвийного инструмента
7–9	Плоское шлифование торцом абразивного инструмента, внутреннее шлифование
8–10	Шлифование и заточка инструментов
8–12	Резьбошлифование мелкозернистыми абразивными инструментами

С увеличением структуры на один номер объем зерна в абразивном инструменте уменьшается на  $\Delta V = 2\%$ , а объем связки, соответственно, увеличивается на  $2\%$ :

$$(V_z \pm \Delta V_z) + (V_{св} \pm V_{св}) + V_{п} = 100\%,$$

где  $V_z$ ,  $V_{св}$ ,  $V_{п}$  – объемы, соответственно, зерен, связки и пор.

Для обеспечения предусмотренной циклом равномерной работы, редкой правки инструмента и получения стабильного качества изделий абразивные инструменты для автоматических линий отличаются постоянством по степени твердости и структуре. Как правило, их изготавливают по ужесточенным техническим условиям.

Это высокопористые инструменты, крупные поры которых получают применением наполнителей, выгорающих в процессе термообработки инструмента. Высокопористые абразивные инструменты имеют объем пор до  $75\%$ , по размерам значительно превышающим размеры абразивных зерен. Это позволяет в значительной степени уменьшить теплообразование в зоне шлифования, вести обработку при более жестких режимах, что способствует повышению производительности труда без снижения качества поверхностного слоя металла. При этом следует иметь в виду, что кромкостойкость этих инструментов меньше, чем обычных.



**3.4.** В зависимости от вида связки абразивного инструмента выбрать характер операции, кинематику резания, условия работы инструмента.

Связка абразивного инструмента в значительной степени обуславливает интенсивность съема материала, качество обработки, износ инструмента и, соответственно, экономичность операции.

Вещество или совокупность веществ, применяемых для закрепления абразивных зерен в инструменте, называют связкой. Механизм закрепления зависит от характера взаимодействия связки с зернами. В зависимости от химического состава и физических свойств веществ, входящих в связку, различают органические и неорганические связки.

К **органическим связкам** относятся бакелитовая, вулканитовая, эпоксидная, глифталевая и др. Для *бакелитовой* связки в качестве связующего компонента используют порошкообразный или жидкий бакелит с соответствующими наполнителями и увлажнителями. Основным компонентом *вулканитовой* связки является синтетический каучук. Введение в связку различных наполнителей и ускорителей вулканизации позволяет изменять технологические и эксплуатационные свойства абразивных инструментов. *Глифталевая* смола используется в качестве связки для применяемых в процессе полирования инструментов из карбида кремния зеленого зернистостью 6-M14, а вспененный поливинилформаль – для порошковых абразивных инструментов, объем пор в которых равен 80 %.

Инструмент на *бакелитовых* связках обладает более высокой прочностью на сжатие по сравнению с керамической. Абразивные инструменты на бакелитовой связке, армированные стеклотканью, работают на очень высоких скоростях (80 м/с и более). При достаточно длительном воздействии температуры 250...300 °С бакелитовая связка выгорает, при 200 °С и выше становится хрупкой и инструменты теряют стойкость. При действии щелочных растворов бакелитовая связка разлагается, поэтому поверхность инструментов на бакелитовой связке покрывают водонепроницаемой краской, лаком, суриком, серой или пропитывают парафином. Концентрация щелочного раствора, применяемого для охлаждения бакелитовых инструментов, не должна превышать 1,5 %. Работа абразивным инструментом на бакелитовой связке часто ведется без охлаждения.

Бакелитовая связка имеет три основные разновидности: пульвербакелит (Б, Б1), жидкий бакелит (Б2) и специальная (Б3), которая используется для резбошлифовальных и тонких разрезных абразивных дисковых инструментов. Инструменты на бакелитовой

связке обладают высокой прочностью и упругостью (модуль упругости связки в 20–50 раз меньше, чем у стали).

*Вулканитовая* связка по сравнению с другими является более плотной и эластичной, что вызывает повышенный нагрев обрабатываемой заготовки. Теплостойкость каучука низкая (150...180 °С). Создать большие давления при шлифовании инструментами на вулканитовой связке нельзя, так как зерна углубляются в связку. Эластичность связки позволяет создавать очень тонкие абразивные диски при значительном диаметре (десятые доли миллиметра по толщине при диаметре 150...200 мм). Вулканитовую связку выпускают нескольких разновидностей: В, В1, В2, В3. В связке В1 используют синтетический каучук, а инструменты формируются прокаткой на вальцах. Связку В2 используют в резьбошлифовальных инструментах для шлифования резьб с малым шагом.

Абразивные инструменты на вулканитовой связке, имеющие большие упругость и плотность, хорошую водоупорность, но обладающие несколько меньшей прочностью и теплостойкостью, широко применяют при прорезных и отрезных работах и для получения малой шероховатости поверхности.

К *неорганическим связкам* относятся керамическая, силикатная, магнезиальная и др. *Керамические связки* являются многокомпонентными смесями огнеупорной глины, полевого шпата, борного стекла, талька и других минеральных материалов, составленными по определенной рецептуре с добавками клеящих веществ – растворимого стекла, декстрина и др. *Спекающиеся* керамические связки К2, К3 используют для закрепления зерен из карбида кремния. В процессе термической обработки они частично расплавляются и по своему состоянию и составу становятся близки фарфору. *Плавящиеся* керамические связки К1, К5, К8 обеспечивают прочное закрепление зерен из электрокорундовых материалов, вступая с ними в химическое взаимодействие. По своему составу и состоянию они являются стеклами.

Недостатком керамической связки является ее высокая хрупкость. Кроме того, цикл изготовления инструментов на керамической связке сложный и длительный. Он включает в себя приготовление связки, затем приготовление из нее и абразивного зерна формовочной массы, формование абразивных инструментов, их термическую и механическую обработку и испытание. Формование абразивных инструментов в основном осуществляется прессованием в специальных пресс-формах. При термической обработке происходит окончательное скрепление абразивных зерен и придание инструментам опреде-

ленных свойств. Абразивные инструменты на керамической связке обладают высокими прочностью, теплостойкостью, жесткостью и имеют универсальное применение, а также используются для разнообразных шлифовальных операций. Однако из-за повышенной хрупкости их не применяют при ударной нагрузке и малой высоте инструмента. Тонкие абразивные инструменты (толщиной менее 3 мм) легко разрушаются от боковой нагрузки.

Выпуск абразивного инструмента на керамической связке составляет 50–60 % от общего объема производства, на бакелитовой – 30–39 %, на вулканитовой – 4–7 % и на других связках – не более 1, 2 %.

**3.5.** Измерить геометрические размеры инструмента и определить их допуски с указанием вида обработки (в зависимости от класса точности). Каждый класс точности характеризуется предельными отклонениями наружных, внутренних и торцовых поверхностей, их взаимного расположения, зерновым составом, наличием сколов, трещин и раковин.

ГОСТ 3060–86 предусматривает изготовление абразивных дисков трех классов точности: *AA*, *A* и *B*. Наибольшая точность соответствует классу *AA*. В табл. 33 приведены допустимые отклонения высоты абразивных дисков по ГОСТ 2424–85.

Таблица 33

**Предельные отклонения высоты абразивных дисковых инструментов**

Номинальная высота, мм	Классы точности, мм		
	<i>AA</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
До 3	±0,1	±0,2	±0,3
Свыше 3 до 6	±0,15	±0,3	±0,5
Свыше 6 до 10		±0,5	±0,7
Свыше 10 до 16	±0,2	±0,7	±1,0
Свыше 16 до 40		±1,0	±1,5
Свыше 40 до 100	±0,25	±1,2	±2,0
Свыше 100	±0,3	±1,5	±3,0

В табл. 34 приведены рекомендации по применению инструментов классов точности *A*, *AA*.

### Применение инструментов различных классов точности

Индекс качества зерна	Класс точности инструмента	Применение
Зерно высших марок с индексами В, П, Н	<i>A</i>	Окончательная обработка заготовок из материалов всех групп обрабатываемости шлифованием. Скоростное и высокоскоростное окончательное шлифование
То же с индексами В, П	<i>AA</i>	Прецизионная одно- и многокруговая, многокромочная обработка высокоточных заготовок из материалов всех групп обрабатываемости шлифованием. Скоростное и высокоскоростное прецизионное шлифование особо точных заготовок
Зерно всех марок, кроме 13А и 62С	Все виды абразивных инструментов высшей категории качества	Обработка заготовок из материалов всех групп обрабатываемости шлифованием абразивным инструментом с гарантированными эксплуатационными свойствами

#### 3.6. Класс неуравновешенности.

В зависимости от класса точности устанавливается и *класс неуравновешенности*: для класса *AA* неуравновешенность должна соответствовать классу 1; для инструментов класса точности *A* – классам 1 или 2; для класса точности *B* – классам 3 и 4. Наименьшая неуравновешенность соответствует классу 1, наибольшая – классу 4. Например, для инструмента массой от 2 до 2,5 кг допустимая неуравновешенность массы, г, для классов неуравновешенности 1–4 составляет, соответственно: 7,5; 12; 20; 40 г.

Неуравновешенность абразивных дисковых инструментов является одной из основных причин, вызывающих вибрации при шлифовании, снижение стойкости абразивных инструментов, производительности операций обработки и качества обработанной поверхности, ограничение скорости абразивных дисковых инструментов. Поэтому уравновешенность инструментов – один из важнейших показателей их качества. Особенно большое значение приобретает этот показатель в связи с возможностью увеличения производительности труда при повышенных скоростях шлифования.

Тип абразивного дискового инструмента, его размеры, марка абразивного материала, зернистость и ее индекс, номер структуры, марка связки наряду с рядом других параметров составляют характер-

ристку абразивного инструмента в состоянии поставки (статическая характеристика), *условное обозначение* которой четко наносится на торцевой поверхности инструментов диаметром 250 мм и более, на этикетках – для инструментов диаметром свыше 40 до 250 мм, на коробках или пакетах – для инструментов диаметром до 40 мм. Примеры маркировки и условных обозначений абразивных и алмазных инструментов приведены на рис. 89 и 90.

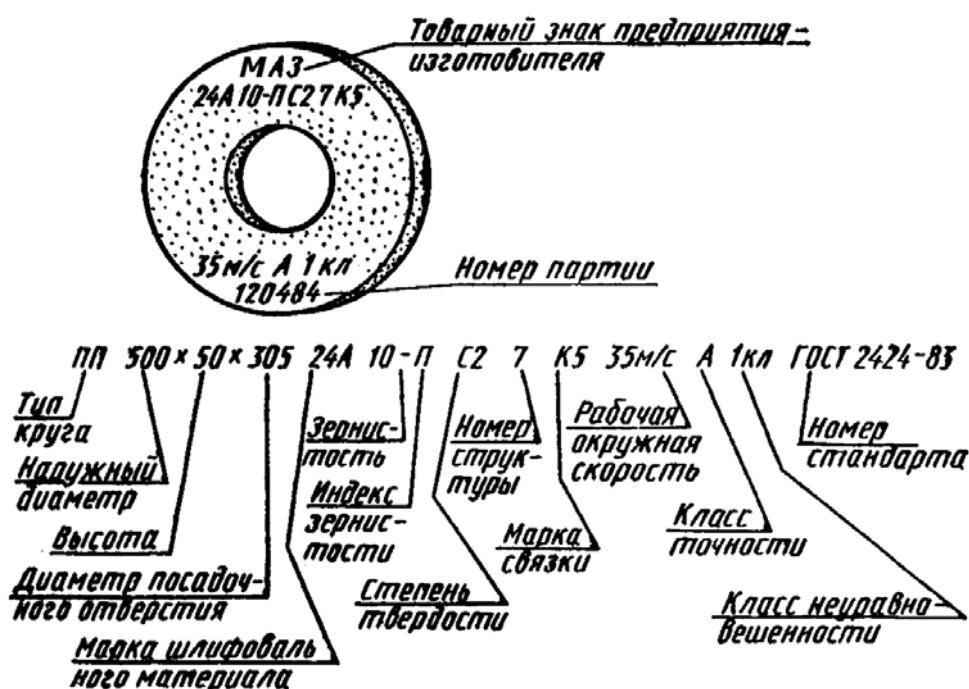


Рис. 89. Маркировка и условное обозначение абразивного дискового инструмента

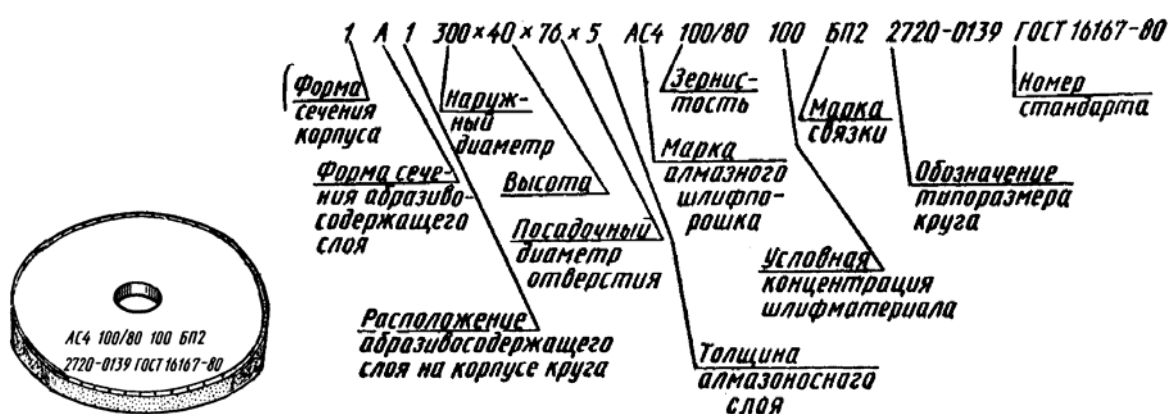


Рис. 90. Маркировка и условное обозначение алмазного инструмента

### 3.7. Установить вид рабочей поверхности.

Абразивный инструмент с непрерывной рабочей поверхностью разделяется по форме сечения (рис. 91).

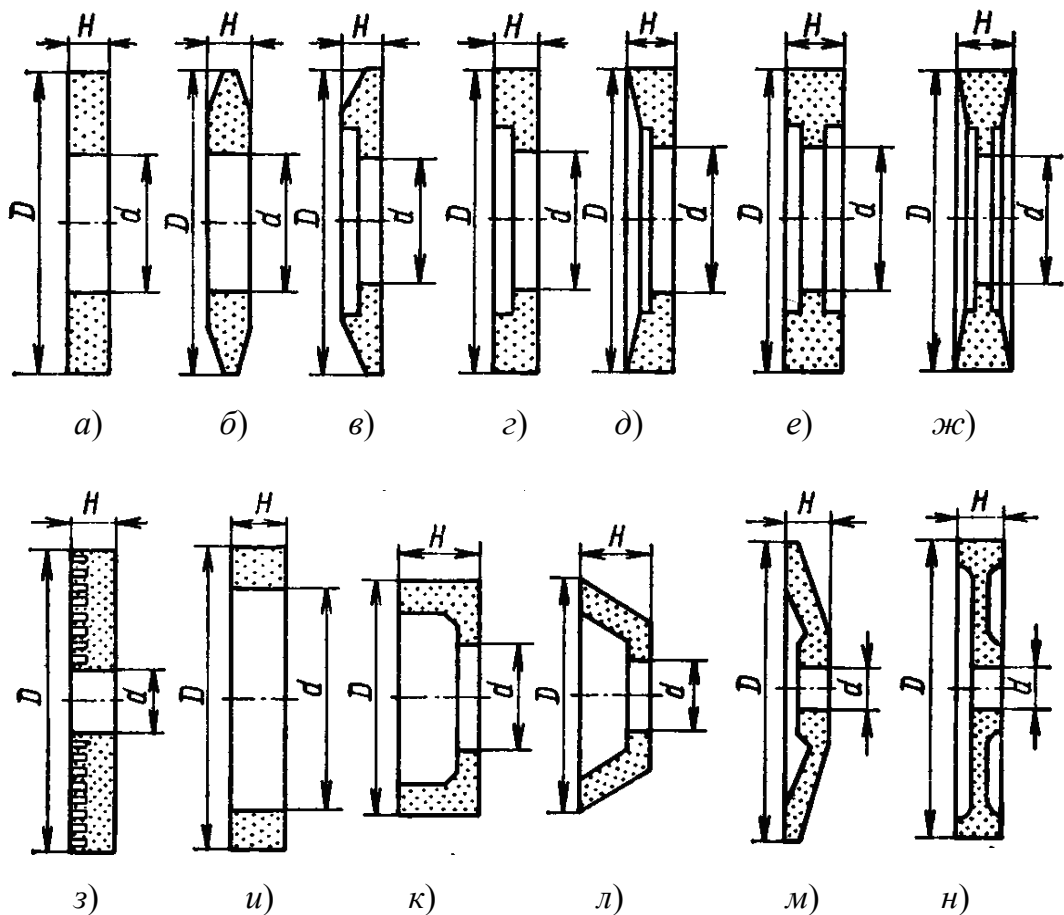


Рис. 91. Формы сечений абразивных инструментов:

*a* – прямого профиля (ПП); *б* – с двусторонним коническим профилем (2П);  
*в* – с коническим профилем (ЗП); *г* – с выточкой (ПВ); *д* – с конической выточкой (ПВК); *е* – с двусторонней выточкой (ПВД); *ж* – с двусторонней конической выточкой (ПВДК); *з* – специальный (ПР); *и* – кольцевой (К);  
*к* – чашечный цилиндрический (ЧЦ); *л* – чашечный конический (ЧК);  
*м* – тарельчатый (Т); *н* – с двусторонней выточкой и ступицей (ПВДС);  
 $D$  – наружный диаметр,  $H$  – высота,  $d$  – диаметр посадочного отверстия

**3.8.** Выбрать способы крепления абразивных инструментов и изобразить эскизы.

На рис. 90 изображены цельные абразивные инструменты с различными способами их закрепления.

**3.9.** Выбрать вид правки и профилирования абразивного инструмента.

В зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности осуществляют алмазную и безалмазную правку следующими методами (рис. 92):

1) обтачиванием алмазным инструментом (рис. 93, *a*); тангенциальным точением профильной поверхности инструмента алмазным инструментом (рис. 93, *б*);

2) обкатыванием абразивными, твердосплавными и металлическими дисками (рис. 93, *в*);

3) шлифованием инструментами из карбида кремния и алмазно-металлическими роликами (рис. 93, *г*);

4) накатыванием накатным роликом (рис. 93, *д*).

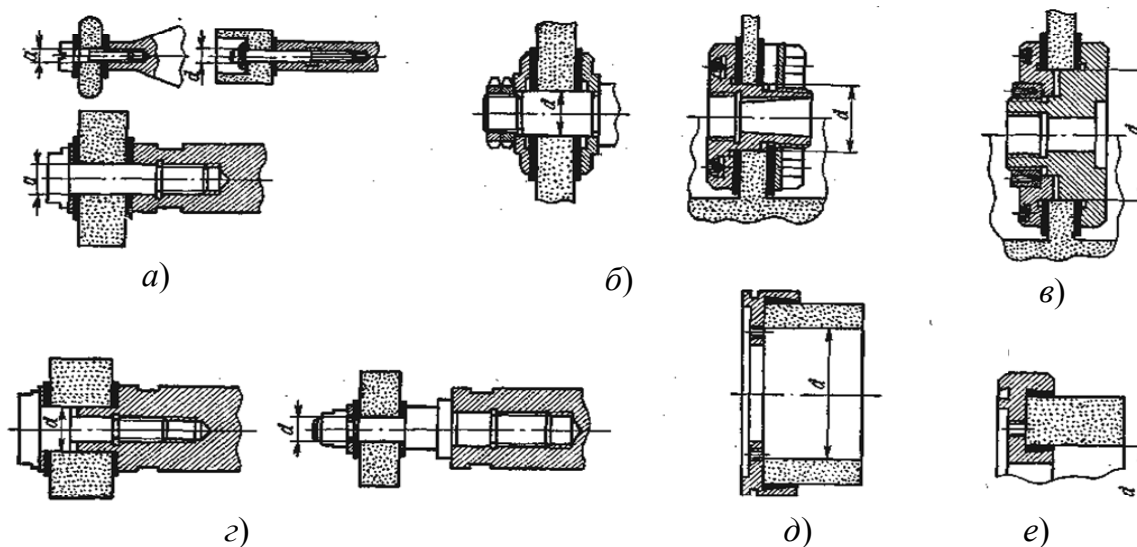


Рис. 92. Эскизы крепления абразивных инструментов:

*a* – на винте или сменной оправке; *б* – на фланцах непосредственно на шпиндель; *в* – на переходных фланцах винтами; *г* – винтом или гайкой;

*д* – кругов на переходных фланцах наклеиванием;

*е* – сегментов наклеиванием на переходные фланцы

*Правка методом обтачивания.* Метод обтачивания (см. рис. 93, *a*) представляет собой процесс высокоскоростного разрушения твердого абразивного материала и связки абразивного инструмента. Правку осуществляют либо отдельными сравнительно крупными однокристалльными алмазными зёрнами, зачеканенными в державку, либо алмазно-металлическими карандашами диаметром 8...10.

В процессе правки кристаллы алмазов и вставки алмазно-металлического карандаша изнашиваются с образованием площадок, поэтому такие алмазные инструменты обычно устанавливаются так, чтобы ось карандаша или оправки была наклонена под углом 12...15° в сторону вращения абразивного инструмента (рис. 94).

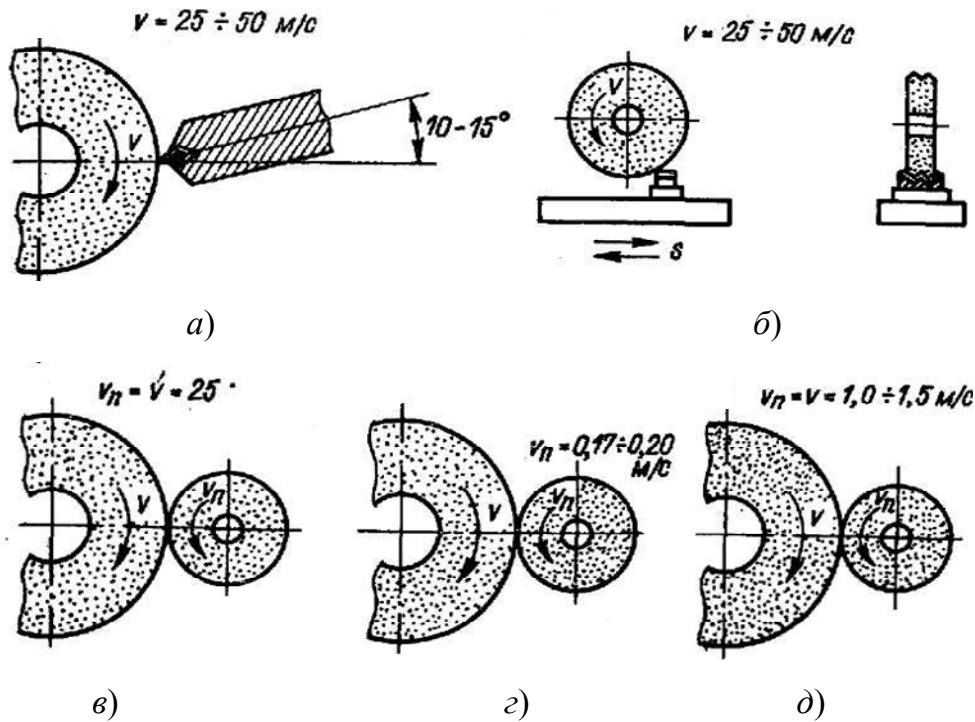


Рис. 93. Схемы методов правки шлифовальных инструментов: а – обтачиванием (точение радиальное); б – тангенциальным точением; в – обкатыванием; г – шлифованием; д – накатыванием

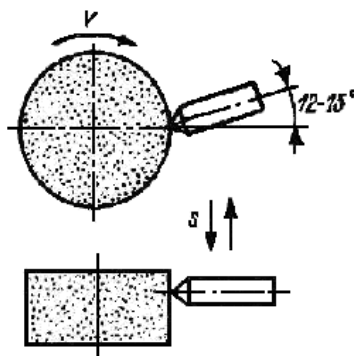


Рис. 94. Установка алмазного инструмента при правке

Это позволяет периодически поворачивать алмазный инструмент вокруг оси, уменьшать площадь контакта алмаза с инструментом, вводить в работу незатупившиеся грани алмаза и тем самым улучшать условия работы правящего инструмента, уменьшать его износ. Кроме того, это предохраняет алмаз от перегрузок, исключает вибрации в системе «станок – абразивный инструмент – алмаз» и преждевременное разрушение кристаллов алмаза.

Для закрепления алмазов в оправке применяют три основных способа: механический зажим (резьбовым колпачком, пружиной, двумя планками); пайка различными припоями и зачеканка в медные или стальные оправки с медными вставками. Большое значение имеет пра-



вильность установки и закрепления алмаза в оправке. Алмаз должен быть установлен в оправке таким образом, чтобы плоскости сколов кристаллов не совпадали с направлением сил, действующих на алмаз при правке. После закрепления алмаз должен выступать из оправки не более чем на  $1/4$  своей высоты.

Для правки однопрофильных резьбошлифовальных инструментов применяют алмазные иглы (рис. 95). Для изготовления игл применяют природные алмазы в виде кристаллов формы октаэдра, а также зерна пиленые или колотые.

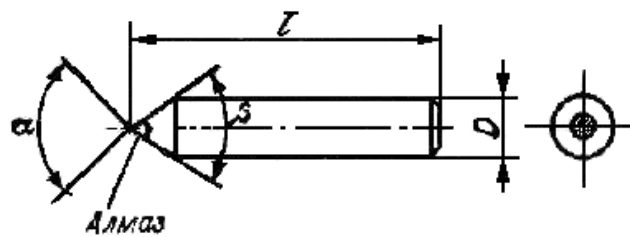


Рис. 95. Игла алмазная ( $\alpha$  – угол заточки алмаза;  $\beta$  – угол заточки державки ( $\beta < \alpha$ );  $l$  – общая длина иглы;  $D$  – диаметр оправки)

Высокая производительность правки абразивных инструментов иглами, повышение точности и качества шлифования перекрывают расходы на изготовление такого инструмента.

Во избежание графитизации алмаза необходимо избегать возникновения высоких температур в рабочей зоне правки. С этой целью проводят правку с охлаждением, подавая охлаждающую жидкость не только на абразивный, но и на правящий инструменты. Это снижает температуру в рабочей зоне кристалла алмаза и удлиняет срок службы алмазного инструмента.

Карандаши типа Ц в основном применяют при правке инструментов для круглого центрового и бесцентрового, внутреннего и фасонного шлифования (рис. 96). Карандаши типа С, обладающие повышенной износостойкостью, используют для правки абразивных инструментов при чистовом шлифовании и автоматическом цикле работы станка. Карандаши типа Н применяют при правке мелкозернистых абразивных инструментов на операциях круглого и бесцентрового шлифования, резьбо-, зубо- и шлицешлифования.

Карандаши, как и однокристалльные инструменты, должны быть расположены под углом  $12...15^\circ$  к поверхности абразивного инструмента с тем, чтобы по мере изнашивания одного из участков карандаша путем поворота вводить в работу другие неизношенные его участки.

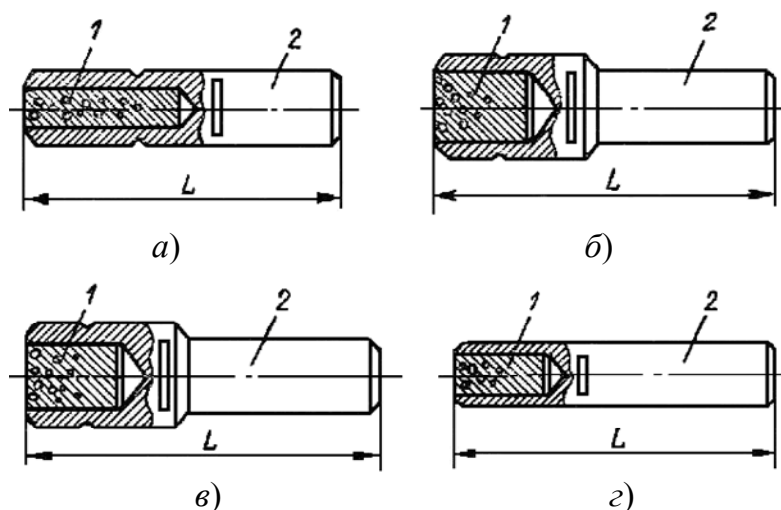


Рис. 96. Эскизы алмазных карандашей:

*a* – типа Ц; *б* – типа С с неперекрывающимися слоями алмазов;

*в* – типа С с перекрывающимися слоями алмазов;

*г* – типа Н; 1 – алмазная вставка; 2 – оправа

Профилирование и правка методом *тангенциального точения* (см. рис. 93, б) представляют собой процессы, аналогичные процессу обтачивания и осуществляющиеся путем срезания абразивных зерен алмазным профильным бруском. Операцию выполняют на плоскошлифовальных, шлицешлифовальных и специальных станках по всей рабочей поверхности абразивного инструмента при продольном перемещении стола.

Брусок с профилем, соответствующим профилю шлифуемой заготовки, закрепляют на столе станка. Абразивный инструмент при каждой подаче на глубину соприкасается с фасонной поверхностью бруска. Такой контакт абразивного инструмента с правящим алмазным бруском позволяет постоянно обновлять его профиль и тем самым обеспечивать высокое качество обрабатываемых поверхностей, точность размеров и стабильность профиля.

При использовании профильных алмазных брусков на шлицешлифовальных и специальных станках (например, на станках для шлифования елочного замка турбинных лопаток) производительность операций значительно повышается за счет исключения времени на правку, а качество шлифования стабилизируется и повышается за счет работы абразивного инструмента, рабочая поверхность которого восстанавливается перед каждым чистовым ходом.

При оптимальных условиях шлифования и правки обеспечивается шероховатость поверхностей заготовок  $R_a = 1,25$  мкм и точность их профиля в пределах 0,015...0,020 мм.

Правка *методом обкатывания* (см. рис. 93, в) представляет собой процесс дробления и скалывания абразивных зерен на рабочей поверхности абразивного инструмента правящим безалмазным инструментом, прижимаемым к абразивному инструменту и получающим вращение от него за счет сил трения. В качестве правящих инструментов применяются абразивные инструменты из карбида кремния 54С80ВТЧТК, твердосплавные монолитные диски, крупнозернистые твердосплавные ролики на металлической связке, стальные диски и звездочки (шарошки).

Под действием правящего инструмента, вращающегося с одинаковой скоростью рабочей поверхности абразивного инструмента и перемещающегося вдоль его образующей со скоростью продольной подачи, поверхностный слой связки инструмента разрушается, выступающие зерна выкрашиваются, а зерна, сидящие глубже, в связке, раскалываются на части. Проскальзывание между абразивным и правящим инструментами приводит к заглаживанию абразивных зерен на выправляемой поверхности абразивного инструмента и износу правящего инструмента.

При правке методом обкатывания возможны два случая взаимного положения осей инструментов: 1) находятся в одной плоскости ( $\varphi = 0$ ); 2) находятся в пересекающихся плоскостях под углом  $\varphi$ .

С увеличением угла  $\varphi$  в зоне правки возрастают разрушающие усилия, действие которых интенсифицирует процесс правки рабочей поверхности абразивного инструмента и увеличивает износ правящего инструмента.

В процессе правки абразивного инструмента крупнозернистым правящим инструментом, изготовленным из крошки твердого сплава и карбида кремния, проскальзывание между абразивным и правящим инструментами оказывает меньшее влияние на качество правки, чем при правке монолитным твердосплавным роликом, зерна которого меньше, чем зерна абразивного инструмента.

Следует обратить внимание на правку шлифовальных инструментов металлическими дисками диаметром  $D$  50 и 70 мм (рис. 97), изготавливаемыми из стали марок 10, 20 и 30 с глубиной цементации 0,3...0,5 мм и твердостью 56...60 HRC. Наличие у дисков мягкого незакаленного слоя материала способствует более интенсивному процессу правки, меньшему заглаживанию режущих граней абразивных зерен инструмента, обеспечивает им при правке высокую режущую способность. Эти диски также применяют для правки при чистовом и получистовом шлифовании с шерховатостью поверхностей  $R_a = 2,5...0,63$  мкм.

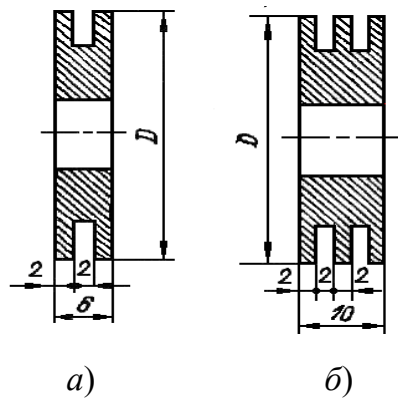


Рис. 97. Эскизы дисков металлических для предварительной правки шлифовальных инструментов: *а* – одной канавкой; *б* – двумя канавками

При безалмазной правке методом обкатывания возникают большие усилия, вызывающие повышенный износ рабочей поверхности абразивного инструмента. После такой правки износ абразивного инструмента в процессе шлифования гораздо больше, чем при правке алмазными инструментами. В среднем, износ абразивного инструмента после правки безалмазными инструментами методом обкатывания примерно в два раза выше, чем после правки алмазными инструментами – однокристалльным алмазом и алмазно-металлическим карандашом.

Правку методом обкатывания используют исключительно при профилировании абразивных инструментов из электрокорунда и карбида кремния. Алмазные и эльборные инструменты профилировать этим методом не рекомендуется из-за значительного силового воздействия правящего инструмента на рабочий слой, вызывающего повышенный его износ и низкую размерную стойкость инструмента.

Правка *методом шлифования* (см. рис. 93, *г*) представляет собой процесс срезания и дробления абразивных зерен медленно вращающимся правящим инструментом, который получает принудительное вращение от самостоятельного привода или от привода передней бабки шлифовального станка. При этом методе вследствие разности скоростей абразивного инструмента, вращающегося с рабочей скоростью, и правящего инструмента происходит скалывание частичек абразивных зерен, а иногда выкрашивание целых зерен под давлением правящего инструмента. Правка методом шлифования копирует схему процесса шлифования деталей, при которой правящий инструмент вращается со скоростью обрабатываемой заготовки. Этот метод правки обеспечивает более высокую эффективность шлифования по сравнению с методом обтачивания и обкатки, так как на рабочей поверхности инструмента создается наибольшее число режущих элементов при меньшем шаге их расположения.

Для правки абразивных инструментов методом шлифования применяют инструменты из карбида кремния на керамической связке зернистостью 125...150 и степени твердости СТ1–ВТ диаметром 60...250 мм.

Правящие приспособления с самостоятельным приводом абразивного инструмента принимают для правки как по периферии, так и по его торцам (рис. 98).

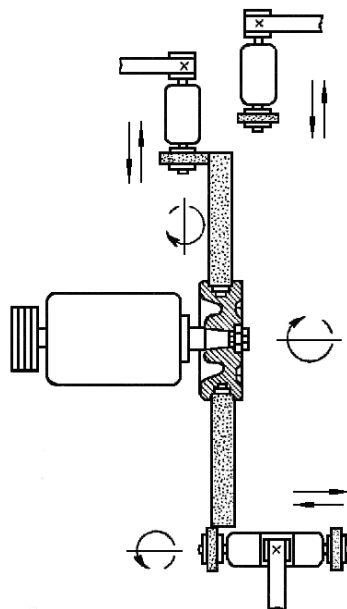


Рис. 98. Схема правки торцов и периферии абразивного диска приспособлением с самостоятельным приводом правящего инструмента

Правка абразивных инструментов методом шлифования инструментами из карбида кремния эффективнее, чем правка методом обкатки, так как обеспечивает лучшую шероховатость обработанной поверхности и более высокую износостойкость инструментов.

Алмазные ролики (рис. 99) для правки абразивных дисковых инструментов методом шлифования изготавливают диаметром 70 мм и высотой 20 мм из природных алмазов с равномерным их расположением на рабочей поверхности ролика. Ролик (рис. 99) состоит из корпуса 1, изготовленного из стали марки 35 или 45, и алмазоносного слоя 2, прочно соединенного с корпусом. Алмазоносный слой состоит из алмазов, сцементированных специальной твердосплавной связкой.

Правка методом накатывания (см. 93, д) рабочей поверхности инструмента представляет собой процесс дробления абразивных зерен и связки при относительно медленном вращении накатного ролика и абразивного инструмента. Правящим инструментом служит фасонный стальной ролик, имеющий профиль обрабатываемой детали.

Накатывание ведется при скорости 1...1,5 м/с с поперечной (врезной) подачей 0,05...0,06 мм/мин.

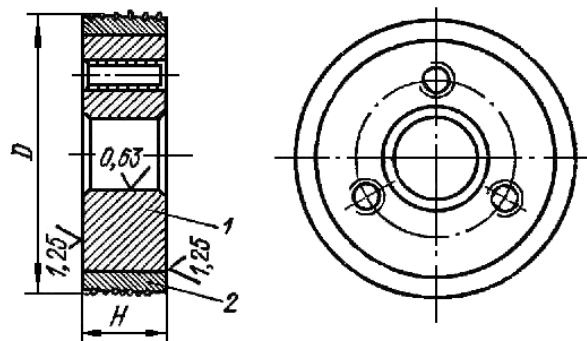


Рис. 99. Эскиз ролика с алмазосносным слоем для правки абразивных инструментов: 1 – корпус; 2 – алмазосносный слой

Профилирование абразивных инструментов накатными роликами обладает рядом преимуществ: простотой конструкции приспособлений, возможностью одновременной правки по нескольким поверхностям профиля абразивного инструмента, высокой режущей способностью его выправленных рабочих поверхностей.

Для накатывания применяют ролики из стали марок 45, 40Х, закаленной до 31...33 HRC, и из стали марок У8А, У10А, ХГ, Р18, закаленной до 61...65 HRC. На рис. 100 приведена конструкция накатного ролика с параллельными оси канавками неравномерного шага. Наличие канавок интенсифицирует процесс профилирования, а неравномерный шаг их расположения не оставляет на поверхности следов от канавок и исключает биение абразивного инструмента после правки.

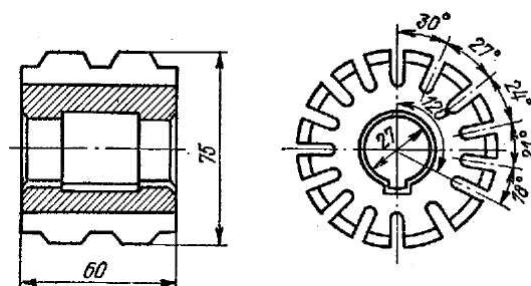


Рис. 100. Эскиз накатного ролика для накатывания профиля фасонных абразивных инструментов

Правку накатными роликами производят как с охлаждением, так и без охлаждения. При накатывании без охлаждения процесс правки идет несколько быстрее, так как канавки ролика не засоряются разрушаемыми частицами. При такой правке желателен интенсивный отсос частиц из зоны правки.

Правку методом накатывания рабочей поверхности применяют при многопрофильном резьбошлифовании, шлифовании зубчатых колес абразивным червяком, при фасонном и шлицешлифовании.

*Правка алмазных и эльборных инструментов.* Абразивные инструменты из эльбора и алмаза, обладающие высокой режущей способностью с сохранением ее длительное время на высоком уровне, как правило, требуют правки инструмента реже, чем инструмента из обычных абразивных материалов, а в ряде случаев вовсе не требуют правки до полного износа алмазо- или эльбороносного слоя.

Однако сам процесс правки эльборных или алмазных инструментов значительно труднее, чем инструментов из электрокорунда и карбида кремния из-за специфических отличий этих сверхтвердых абразивных материалов. Для интенсификации процессов правки таких инструментов часто используют наложение электрического тока, химическое и электрохимическое воздействие на рабочий слой инструмента. Метод профилирования эльборных и алмазных инструментов с тепловым разрушением связки основан на электроэрозионной обработке поверхностного слоя инструмента на металлических токопроводящих связках. Электроэрозионный метод обеспечивает повышение съема эльбора или алмазоносного слоя, высокую точность профиля (10...20 мкм) и повышенные режущие свойства.

Разновидностями химического воздействия являются методы химического травления и электрохимический. Эти методы используют для восстановления режущих свойств инструмента, обеспечения оптимальной высоты обнажения зерен над уровнем металлической связки. Электрохимический метод более универсален, находит применение также для профилирования инструментов с несложным профилем.

## **Структура отчета**

1. Эскиз инструмента.
2. Схемы обработки полученным инструментом.
3. Наиболее рациональные виды обработок абразивным инструментом с обоснованием их выбора.
4. Эскиз схемы правки инструмента.
5. Эскиз инструментального блока.

## Контрольные вопросы

1. Назовите марки абразивного материала и обоснуйте их выбор.
2. Охарактеризуйте зернистость абразивного материала и обоснуйте ее выбор.
3. Приведите классификацию твердости абразивного инструмента и обоснуйте ее выбор.
4. Приведите классификацию структуры абразивного инструмента и обоснуйте ее выбор.
5. Приведите классификацию связок абразивного инструмента и обоснуйте их выбор.
6. Приведите классификацию классов точности абразивного инструмента и обоснуйте их выбор.
7. Приведите классификацию классов неуравновешенности абразивного инструмента и обоснуйте их выбор.
8. Приведите классификацию видов рабочей поверхности абразивного инструмента и обоснуйте их выбор.
9. Назовите способы крепления абразивных инструментов.
10. Назовите способы правки и профилирования абразивного инструмента.
11. Назовите способы правки алмазных и эльборных инструментов.

## Литература

1. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.
2. Режущий инструмент и инструментальное обеспечение автоматизированного производства / Е. Э. Фельдштейн [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1993. – 424 с.



## **Лабораторная работа № 9**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ РЕЗЦОВ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ**

Эффективность машиностроения зависит от изменения структуры парка металлообрабатывающего оборудования, в частности, от увеличения удельного веса станков с ЧПУ, автоматических линий, роботизированных, оснащенных микропроцессорной и вычислительной техникой гибких автоматизированных комплексов.

Эффективная эксплуатация указанного оборудования невозможна без создания совершенной инструментальной оснастки, обладающей повышенной надежностью и обеспечивающей экономичное использование дорогостоящей прогрессивной техники.

*Цель работы:*

1. Изучить источники погрешности установки резцов.
2. Ознакомиться с приборами, используемыми при исследовании погрешности установки инструмента на станке.
3. Исследовать влияние способа крепления и точности предварительной настройки резцов на точность их позиционирования.

### **Порядок выполнения работы**

1. Получить исходные данные у преподавателя (размер и допуск обработанной поверхности, материал заготовки, модель станка).

2. Рассчитать размер и допуск на линейный размер сборного резца.

2.1. Изобразить размерную цепь инструментальной наладки.

Типовая размерная цепь инструментальной наладки при токарной обработке показана на рис. 101. Замыкающее звено – размер детали  $X_{0,7}$  определяется размерами составляющих звеньев:  $X_{0,1}$  – расстояние от оси револьверной головки до оси детали;  $X_{1,2}$  – расстояние от оси револьверной головки до базовой поверхности резцового блока;  $X_{2,3}$  – расстояние от базовой поверхности резцового блока до державки резца;  $X_{3,4}$  – расстояние от державки резца до базовой поверхности под сменную многогранную пластину;  $X_{4,5}$  – расстояние от базовой поверхности под сменную многогранную пластину до точки контакта ее со штифтом;  $X_{5,6}$  – расстояние от точки контакта пластины со штифтом до вершины резца;  $X_{6,7}$  – расстояние от оси детали до вершины резца.

Номинальный размер резца, как составляющее звено размерной цепи будет равен [1]:  $X'_{2,6} = (X_{0,7} + X_{1,2} + X_{2,3} + X_{6,7}) - X_{0,1}$ , а как замыкающее звено  $X'_{2,6} = X_{3,4} + X_{4,5} + X_{5,6}$ .

Повышение точности обработки достигается настройкой вне станка с высокой точностью отдельных составляющих размерной цепи  $X_{2,6} = X_{2,3} + X_{3,4} + X_{4,5} + X_{5,6}$  или  $X_{4,6} = X_{4,5} + X_{5,6}$ .

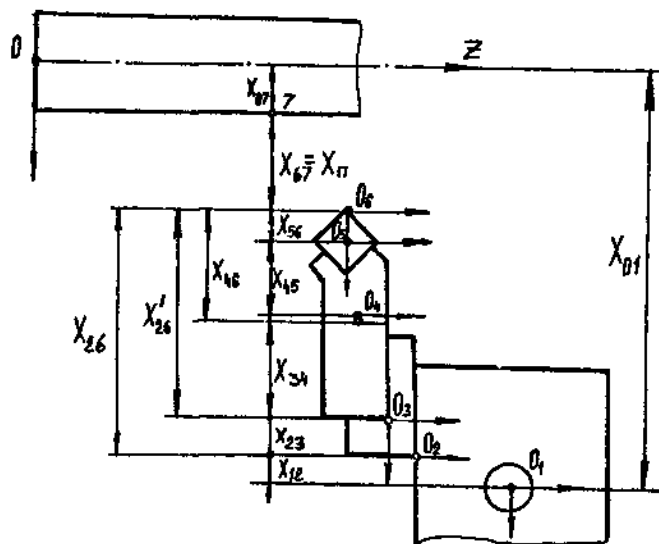


Рис. 101. Размерная цепь инструментальной наладки резца

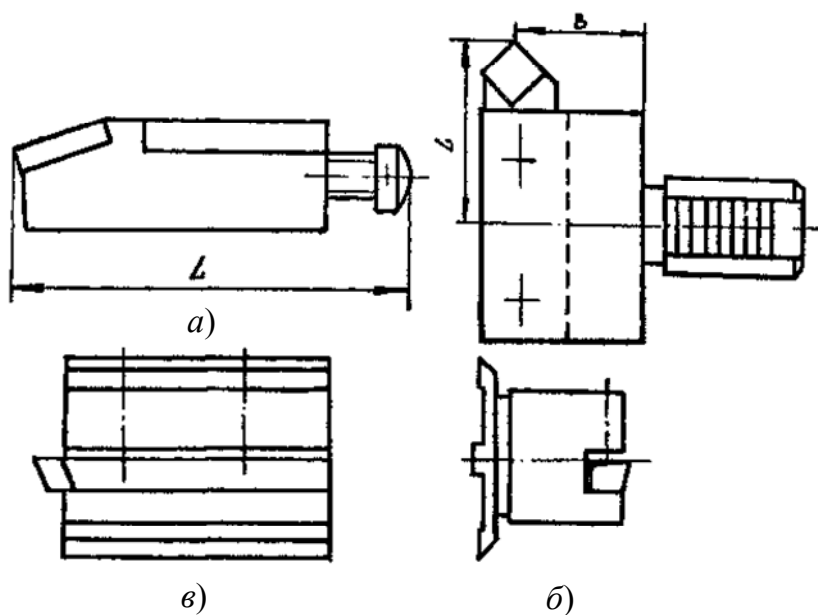


Рис. 102. Эскизы резца и резцовых блоков

Тогда результирующая размерная цепь примет вид  $X_{0,7} = X_{0,1} - (X_{1,2} + X_{2,6} + X_{6,7})$ . Погрешность  $X_{1,2}$  содержит погрешность поворота револьверной головки, что важно учитывать при больших ее диаметрах. Так, например, при радиусе головки 200 мм и погрешности угла поворота  $\pm 10'$  окружная погрешность будет достигать  $\pm 0,58$  мм.

## 2.2. Рассчитать допуск линейного размера резца.

Расчет размерных цепей производится двумя методами: полной взаимозаменяемости (максимума-минимума) и неполной (вероятностным) [1].

Первый метод учитывает только предельные отклонения звеньев размерной цепи и допускает самые неблагоприятные их сочетания. Допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев:

$$T_{X_{0,7}} = \sum T_{X_i}.$$

Определить допуски составляющих звеньев способом равных квалитетов. Для этого рассчитывается среднее значение составляющих звеньев:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

и количество единиц допуска

$$a = \frac{T_{X_{0,7}} - T_{X_{0,1}}}{\sum_{i=1}^N i_i},$$

где  $i_i = 0,45\sqrt[3]{D + 0,001D}$ ;  $D$  – среднее геометрическое значение крайних размеров интервала по таблице допусков, в который попадает размер составляющего звена цепи.

Зная  $a$  и  $D$ , определяется квалитет и назначаются допуски на составляющие звенья.

Для расширения полей допусков составляющих звеньев размерных цепей применяется метод достижения точности замыкающего звена путем пригонки и регулирования.

**3.** Определить вид резца и выполнить его эскиз. В конструкциях инструментов для автоматизированного производства вопросы быстротенности и бесподналадочной замены решаются комплексно.

На станках токарной группы быстротенность обеспечивается применением резцовых вставок с регулировочными винтами (рис. 102, *а*), резцедержателем с цилиндрическим хвостовиком (рис. 102, *б*) и с базовой призмой (рис. 102, *в*).

Возможность обеспечения бесподналадочной замены граней режущей пластины зависит от способа ее крепления в конструкции инструмента.

Все конструкции резцов можно разделить на три вида [2], [3]:

- 1) с силовым замыканием на стенки режущей пластины, имеющей центральное отверстие;
- 2) с силовым замыканием на основании режущей пластины, не имеющей центрального отверстия;
- 3) блочным принципом построения.

Кроме того, в конструкциях первого вида можно выделить способы крепления: рычажные и тяговые (рис. 103, 1–5), клиновые и эксцентриковые (рис. 103, 6–10).

Резец (рис. 103, 1) конструкции фирмы «Сандвик Коромант» состоит из корпуса 1, режущей пластины 2, Г-образного рычага 3, подкладки 4, втулки 5 и винта 6. Закрепление пластинки осуществляется завинчиванием винта 6, который поворачивает Г-образный рычаг 3 вокруг его вершины по часовой стрелке. Один конец рычага входит в канавку винта 6, а второй – в отверстие пластины 2. Достоинствами этого резца являются простота обслуживания и высокая точность базирования режущей пластины, недостатками – большая трудоемкость его изготовления, быстрая потеря работоспособности при обработке хрупких материалов (из-за попадания мелкой стружки и окалины внутрь гнезда корпуса), наличие зазора под вершиной режущей пластины.

Первые два недостатка резца частично ликвидированы в конструкции резца, разработанного во РНИИ (рис. 103, 2). Его Г-образный рычаг выполнен сборным и состоит из штифта с буртиком в средней его части 3 и планки 5.

Головка штифта расположена в отверстии режущей пластины 2, а резьбовая часть – в резьбовом отверстии планки. Кроме того, пластинка 2 установлена на подкладку 4. При креплении пластинки 2 винт 6 ввинчивают в отверстие корпуса 1, и он своим заостренным концом нажимает на планку 5 и поворачивает штифт 3 относительно его буртика.

Достоинством этого резца по сравнению с предыдущим является повышенная технологичность конструкции, недостатком – низкая прочность и жесткость рычага, в результате чего резец может быть применен при чистовых и получистовых режимах резания.

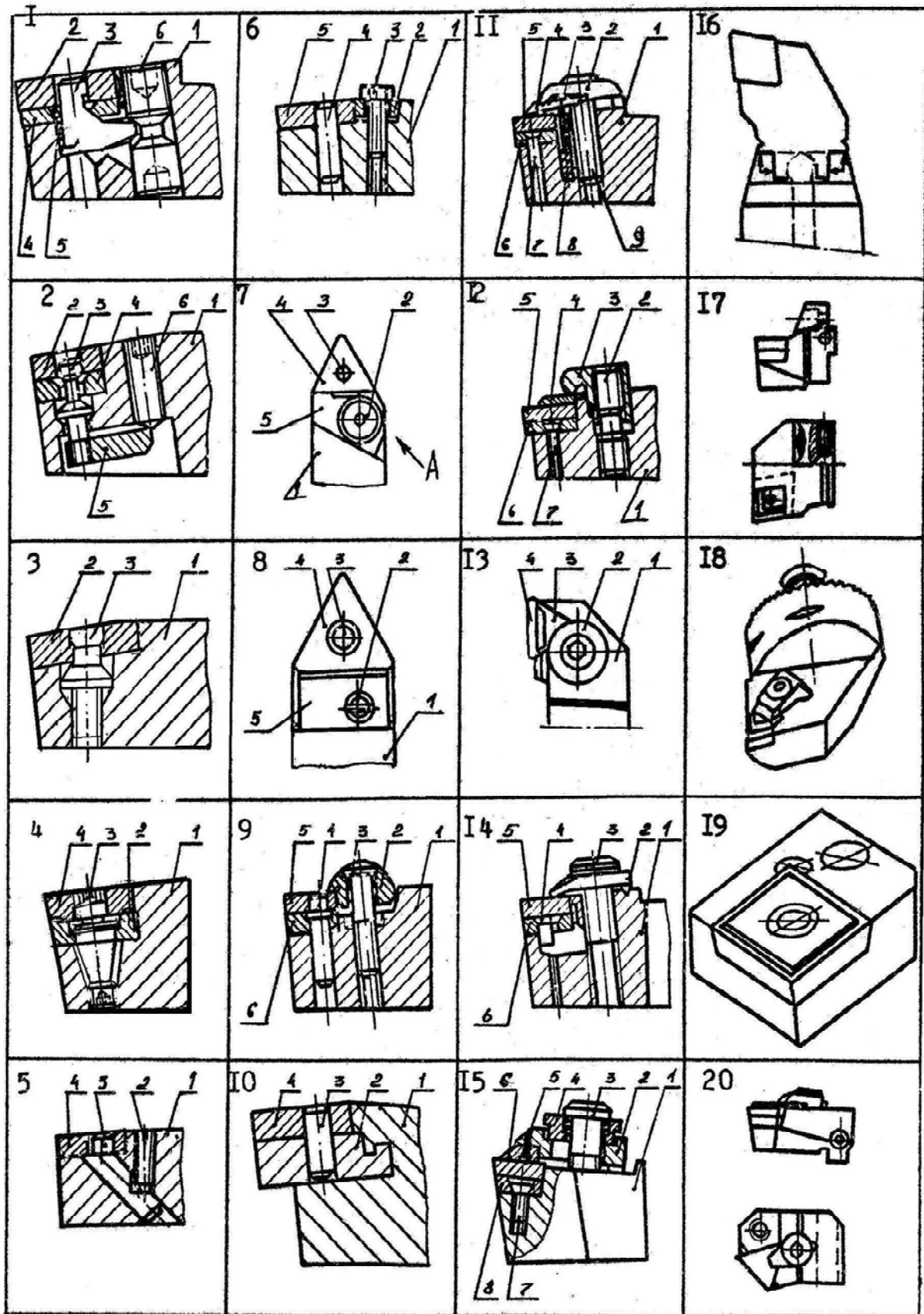


Рис. 103. Эскизы конструкций систем крепления сборных инструментов

В резцах (рис. 101, 3 и 4) основными достоинствами являются повышенная технологичность, малое число комплектующих деталей и простота эксплуатации. Так, зажим пластинки 2 (рис. 103, 3) осуществляется штифтом 3, который, ввинчиваясь в отверстие корпуса 1, деформируется (изгибается) и своей головкой прижимает пластинку к стенке паза державки. В конструкцию резца (рис. 103, 4) введена дополнительно подкладка 2, которая предохраняет от пластической деформации паз державки 1 при поломки режущей пластины 4. Недостатком этих конструкций являются высокие требования к точности изготовления корпуса и штифта.

Крепление режущей пластины 4 резца (рис. 103, 5) происходит при завинчивании винта 2, при этом головка тяги 3 перемещается в направлении опорной стенки гнезда корпуса и прижимает к ней пластину. Конструкция резца характеризуется минимальным числом деталей. Недостатком этого резца является опасность повреждения корпуса при разрушении пластины.

Клиновые способы крепления представлены на рис. 103, 6–9. Резец (рис. 103, 6) конструкции РНИИ является одним из первых сборных резцов. Закрепление пластины 5, установленной на штифте 4, осуществляется путем завинчивания винта 3, который перемещает вниз зажимной клин 2. Такая конструкция проста, но при креплении пластины возникает ее перекося, а точность размеров обрабатываемых деталей при повороте режущей пластины резко снижается.

Конструкция резца (рис. 103, 7) фирмы «Фагеста Секо» (Швеция) кроме деталей стандартного резца конструкции РНИИ включает винт 2 с эксцентриковой головкой. При завинчивании винта 2 клин 5 смещается в горизонтальной плоскости вдоль паза корпуса (по стрелке А) и прижимает режущую пластину 4 к штифту 3. Такая конструкция обеспечивает гарантированное положение линии контакта клина с режущей пластиной. На рис. 103, 8 представлена конструкция резца, в которой винт 2 смещен относительно оси резца и поверхность клина 5, контактирующая с зажимной гранью режущей пластины 4, выполнена выпуклой, что повышает надежность крепления.

Для уменьшения зазора между режущей пластиной и подкладкой фирмой «Сандвик Коромант» предложена форма комбинированного клина 2, который при завинчивании винта 3 прижимает и расклинивает режущую пластину (рис. 103, 9). Недостатком такой конструкции является высокое требование к точности изготовления всех элементов резца. Этому недостатка лишена конструкция резца (рис. 103, 10), у которого режущая пластина 4 закреплена на подвиж-

ном элементе 2. Подвижный элемент имеет призматическую направляющую, которая входит в соответствующий паз корпуса 1. Кроме того, направляющая имеет форму клина. Таким образом, при закреплении пластины в резце она устанавливается на штифт 3 и подвижный элемент 2 перемещается в направлении перпендикулярном к плоскости чертежа и за счет клиновой направляющей прижимает пластину к стенке паза корпуса 1. Недостатком такого резца является низкая жесткость конструкции и нестабильная точность обработки.

Совершенствование конструкций второго вида (рис. 103, 11–15) идет по пути:

- обеспечения надежного стружколома (резцы рис. 103, 11, 15);
- упрощения конструкций и повышения их технологичности (рис. 103, 12, 13);
- расширения степени универсальности (рис. 103, 14).

Рассмотрим более подробно каждую из конструкций. В конструкции резца (рис. 103, 11) закрепление пластины 5, установленной на подкладке 6, которая, в свою очередь, закреплена штифтом 7, осуществляется посредством прижима 2 и винта 9. Прижим 2 опирается на регулируемый стружколом 4, который удерживается в контакте с ним посредством подпружиненного толкателя 3, который не позволяет стружколому выпадать при замене пластины. На рис. 103, 15 конструкция прижима 2 выполнена сборной, что повышает его технологичность.

В резце (рис. 103, 12) режущая пластина 5 установлена на подкладку 6, закрепленную в корпусе посредством винта 7. Сверху на пластине установлен стружколом 4, который прижат к пластине Г-образным прижимом 3 посредством винта 2. Такая конструкция резца требует изготовления закрытых пазов под пластину, что увеличивает трудоемкость изготовления резца.

Конструкция резца (рис. 103, 13) отличается от предыдущего тем, что функции прижима выполняет винт 2 с большим диаметром головки и осью наклоненной под углом  $7^\circ$  к оси пластины. Такая конструкция позволяет одним винтом прижимать пластину 4 и стружколом 3 к нижней и боковой стенкам паза корпуса 1.

Конструктивное исполнение резца (рис. 103, 14) позволяет закреплять как режущие пластины с центральным отверстием, так и без него.

При закреплении пластины 5 без центрального отверстия она устанавливается на подкладку 6 и прижимается винтом 3. При закреплении пластины с центральным отверстием в паз корпуса под подкладкой устанавливается Г-образный прижим, а прижим 2 и винт 3 заменяются на винт, аналогичный резцу (рис. 103, 1). Совершенствование резцов третьего вида (рис. 101, 16–20) направлено на обеспечение

технологичности блоков и повышение их универсальности. Резцовые блоки фирм «Сандвик Коромант» (рис. 103, 16), «Бакуер» (рис. 103, 17) и «Хертель» (рис. 103, 18) предназначены в основном для расточных резцов и борштанг.

Достоинством этих конструкций является сокращение до 50–60 % общей массы инструмента и обеспечение возможности регулировки размера обрабатываемых отверстий. Недостатком является высокая трудоемкость изготовления инструмента.

Резцовые блоки (рис. 103, 19, 20) обладают более высокой технологичностью и универсальностью, позволяющей устанавливать их в конструкциях резцов, осевого инструмента и фрез.

Инструментальное обеспечение автоматических производств при блочном построении инструмента включает в себя унифицированные конструкции инструмента, инструментальные магазины и систему сбора и переработки информации о поставке и эксплуатации инструмента.

Рассмотрим более подробно систему обеспечения автоматических производств фирмы «Сандвик Коромант» [1].

Корпус инструмента составляет постоянную часть различных видов инструментов (рис. 104, а). Один и тот же корпус может быть оснащен различными головками. Размеры корпуса зависят только от размеров станка. Зажим может быть ручной или автоматический. На рис. 104, б показана револьверная головка с блочным инструментом, на рис. 104, в – инструментальный магазин.

Манипулятор автоматически производит захват инструментальной головки в магазине и транспортирование ее к суппорту или револьверной головке.

Для управления системой блочного инструмента применяют инструментальные мониторы (рис. 104, г) – специализированные вычислительные машины для сбора, хранения и преобразования первичной информации о работе системы и выдачи соответствующих команд управления. Датчики обратной связи контролируют расход тока, мощность, силу и температуру резания, различные линейные размеры. Данные от датчиков поступают в монитор (рис. 104, д). На выходе монитора формируются команды для системы управления. На рис. 104, е показаны комплекты инструментальных головок.

Одним из требований многономенклатурного автоматизированного производства является гибкость инструментального обеспечения, позволяющего обрабатывать новые поверхности минимально возможным количеством режущего и вспомогательного инструмента. Для снижения затрат на вспомогательный инструмент и для удобства его эксплуатации важным условием эффективности подсистемы вспомогательного



инструмента является его минимальное количество, обеспечивающее возможность закрепления максимально возможного числа инструментов различных типов и размеров. Эта задача достигается унификацией конструктивных элементов вспомогательного инструмента.

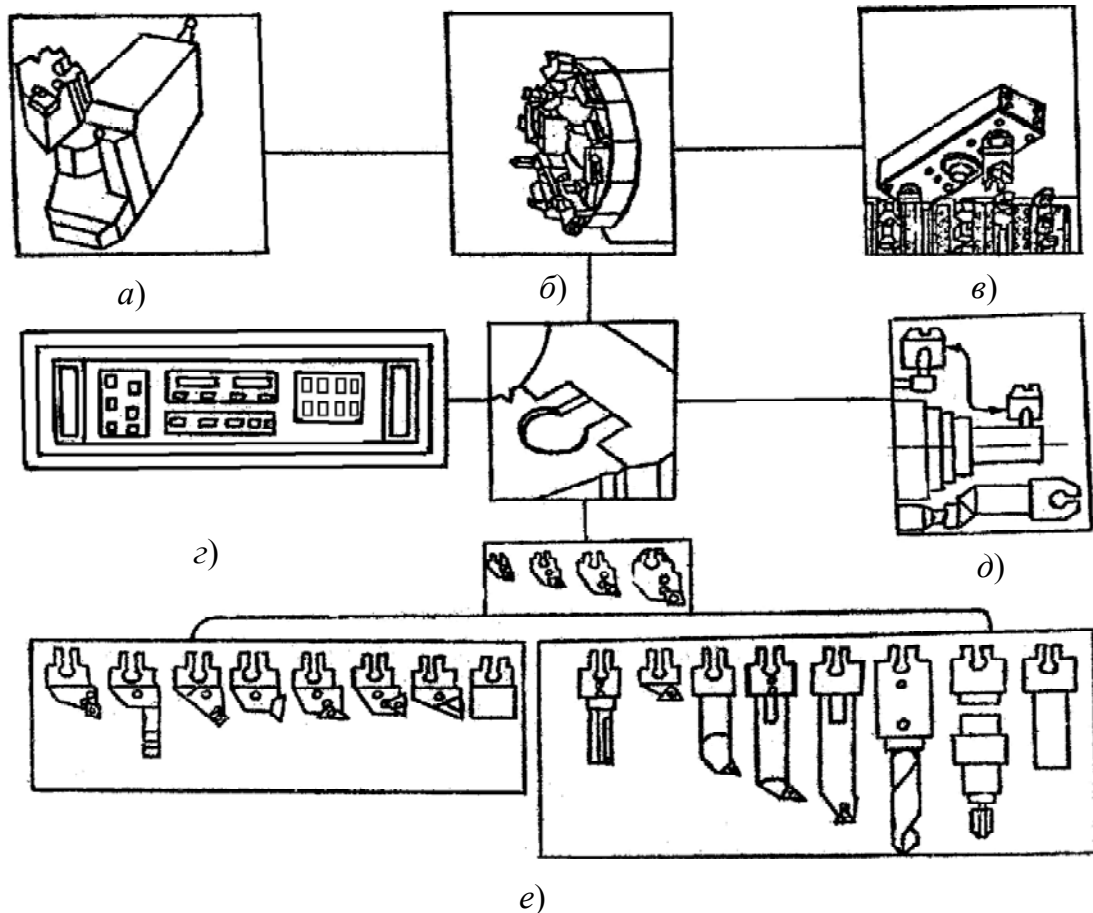


Рис. 104. Блочная система инструнтообеспечения

На рис. 105 изображена подсистема вспомогательного инструмента для токарного станка с ЧПУ. На рис. 105, а изображено унифицированное отверстие для крепления вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком.

В пазы державок (рис. 105, б, 1–10) устанавливаются резцы различных конструкций: проходные, отрезные, канавочные, расточные и др. Державки (рис. 105, 4, 8) позволяют закреплять резцы во взаимоперпендикулярных направлениях, что расширяет их технологические возможности.

Оправка (рис. 105, б, 11) предназначена для крепления перовых сверл и пластинчатых зенкеров.

Крепление осевого инструмента малых размеров осуществляется в цанговых патронах (рис. 105, б, 13, 22), которые крепятся в оправках типа переходных втулок (рис. 105, б, 12, 14, 21). Для обработ-

ки больших диаметров отверстий и на большой длине применяются расточные борштанги (рис. 105, 15, 16, 23). Хвостовики борштанг часто изготавливают цилиндрическими, и крепятся они в переходных втулках (рис. 105, 18–20). Дисковый инструмент закрепляется на цилиндрических оправках (рис. 105, 17) посредством гаек.

Для крупных токарных станков с ЧПУ применяют державки с базирующими призмами (рис. 105). На рис. 105, а изображен паз револьверной головки, в который устанавливаются такие державки с закрепленными на них инструментами.

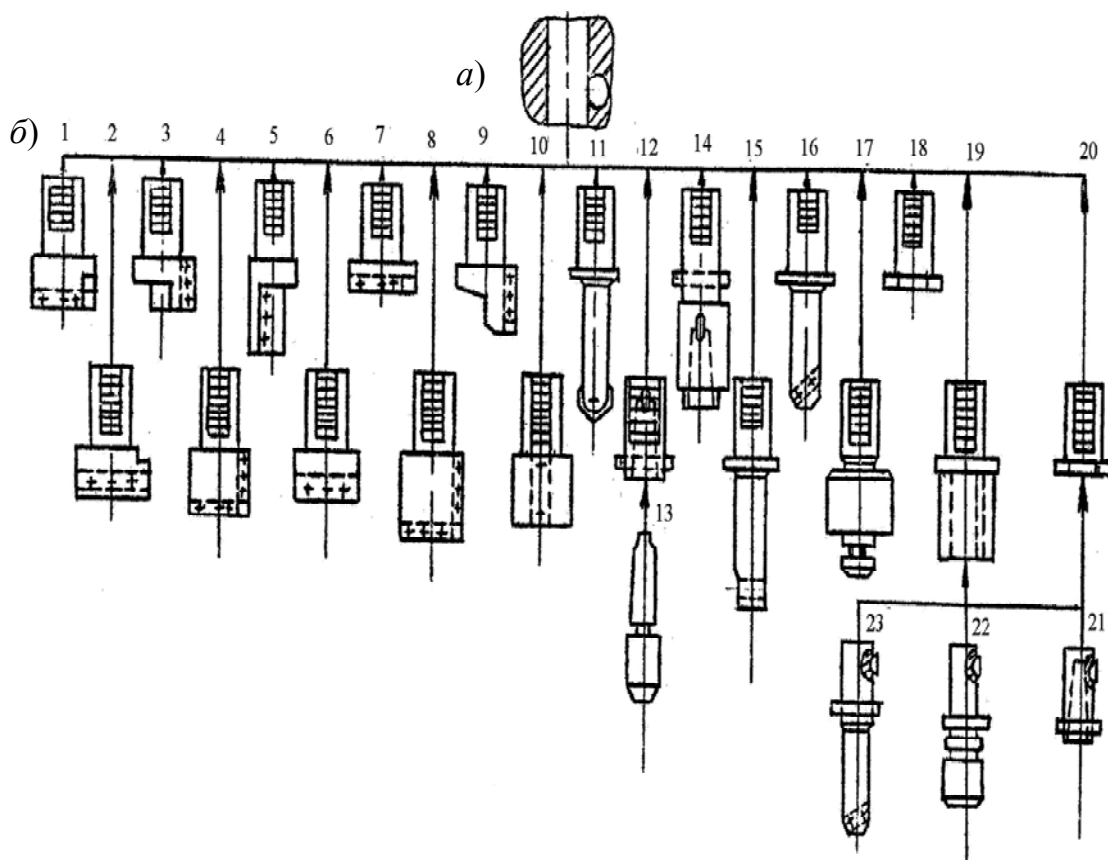


Рис. 105. Подсистема вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком

4. По расчетным значениям резца (резцовой вставки) с помощью блока плоскопараллельных мер длины настраивают измерительную головку на длину  $L$  (рис. 105, а). Или используют прибор для настройки инструмента вне станка (рис. 106).

Прибор позволяет устанавливать в двух горизонтальных координатах как резцы в инструментальных блоках станков токарной группы, так и осевой инструмент в оправках.

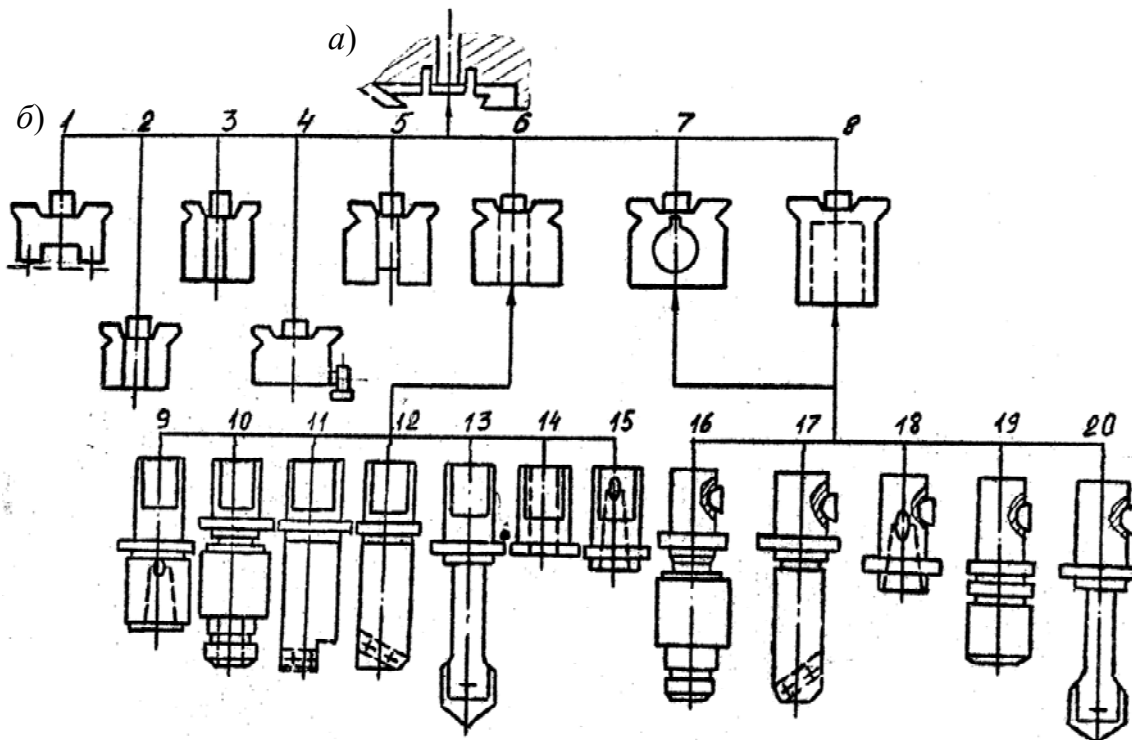


Рис. 106. Подсистема вспомогательного инструмента:

- 1, 2, 3 – резцедержатели с параллельными и перпендикулярными пазами;  
 4 – распределитель охлаждающей жидкости; 5 – трехсторонний резцедержатель;  
 6–8 – держатели для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком;  
 9–20 – инструменты и переходные втулки, устанавливаемые в держатели 6–8

#### Техническая характеристика прибора БВ 2010 [4]

1. Увеличение проектора – 25.
2. Поле зрения объектива проектора, мм –  $\varnothing 6$ .
3. Рабочий участок экрана проектора, мм – 200.
4. Расстояние от базовой плоскости основания до режущей кромки инструмента, мм – 200.
5. Расстояние от режущей кромки инструмента до оправы объектива проектора, мм – 80
6. Рабочее перемещение кареток, мм:  
 – продольное – 300;  
 – поперечное – 200.
7. Цена деления отсчетных устройств, мм – 0,001.
8. Цена деления углового нониуса проектора, мин – 10.

Прибор состоит из ступенчатой станины 1, на плоскости нижней ступени которой имеются Т-образные пазы для установки переходников-адаптеров (имитирующих базирующие поверхности станков токарной группы для установки инструментальных блоков), или шпиндельной бабки 2 для установки осевого инструмента. На верхней поверхности

станины находятся нижняя 3 и верхняя 4 каретки, перемещающиеся, соответственно, в продольном и поперечном направлениях. На верхней каретке установлено визирное устройство 5, выполненное в виде проекционного микроскопа. На поворотном экране 6 проектора имеется штриховое перекрытие. Для установки инструментальных блоков на поверхности прибора устанавливаются сменные переходники-адаптеры. Установка адаптера по двум координатам относительно нулевых точек системы отсчета производится по контрольному шаблону, имитирующему две грани резца с определенными размерами относительно базовых поверхностей шаблона. Каретки с проектором устанавливают на координаты, соответствующие размерам контрольного шаблона.

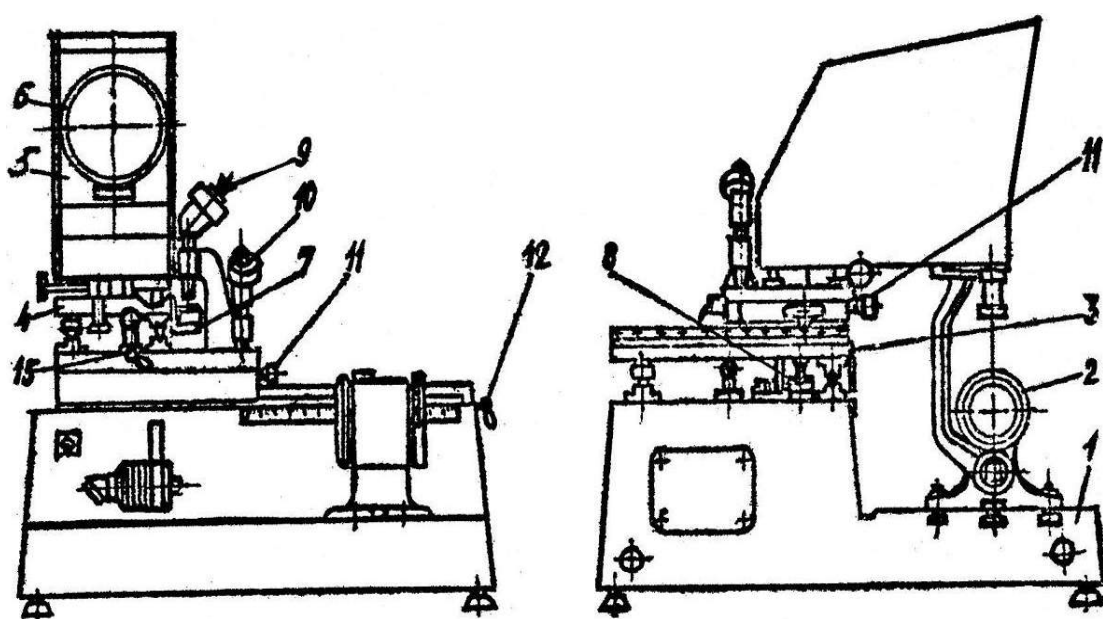


Рис. 107. Эскиз прибора модели БВ-2010 для размерной настройки инструмента

Адаптер с шаблоном устанавливается и закрепляется на станине прибора таким образом, чтобы грани шаблона совпали с перекрестием проектора. Затем калибр снимается с адаптера, и проектор настраивается на размер инструмента согласно координатам, указанным в карте наладки. Предварительная установка проектора на заданные координаты осуществляется перемещением каретки по оптическим шкалам 7 и 8 стеклянных линеек и отсчетным микроскопам 9 и 10. Точная установка проектора осуществляется микрометрическими винтами 11. После установки проектора на заданные координаты положение кареток фиксируется стопорными вантами 12.

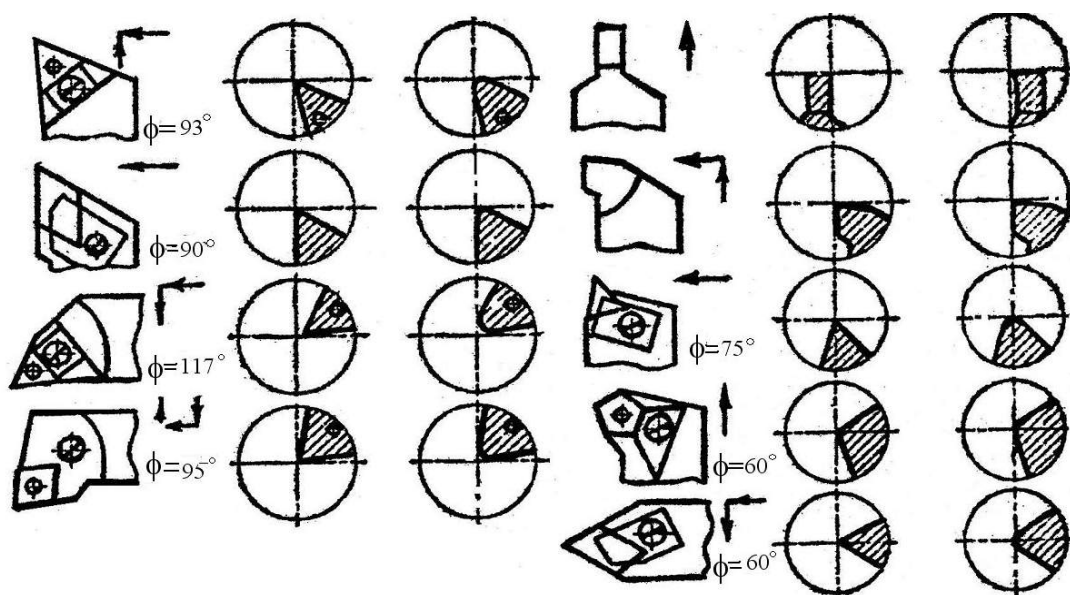


Рис. 108. Вид в окуляре микроскопа при наведении визира на кромку резцов различных типов

Настройка инструмента на заданные размеры координат осуществляется перемещением резца винтами настройки в положение, при котором его режущие кромки будут совпадать с перекрестком проектора (рис. 108).

5. Измерить погрешность установки резца (резцовой вставки) в револьверной головке станка. Погрешность установки резцовой вставки определяют измерительной головкой, установленной на магнитной стойке. Стойка устанавливается на станке, а резцовая вставка – в револьверной головке. В режиме «маховичка» суппорт станка перемещают маховичком в поперечном и продольном направлениях до касания вершины резца с серединой плоского наконечника измерительной головки.

Открепляют, снимают и вновь устанавливают резец. Определяют показания измерительной головки. Данную операцию повторяют 8–10 раз с записью показаний измерительной головки. Максимальное показание измерительной головки определяет погрешность установки резца, настроенного на размер вне станка. Данные записывают в табл. 35.

6. Микрометром (микроскопом) измерить основные геометрические размеры многогранной пластины. Допустимые предельные отклонения конструктивных параметров четырехгранных пластин приведены в табл. 36 [4]. В табл. 36 приняты обозначения:  $d$  – ширина пластины;  $S$  – толщина пластины;  $k$  – размер диагонали пластины;  $k = 2m + d$ .

## Результаты измерений и расчетов

Измеряемый или рассчитываемый параметр и формула для его расчета	Полученное значение параметра, мм
1. Погрешность эталона $\delta_s = L - L_\phi$	
2. Показания приспособления после настройки резца на размер $\delta_p$	
3. Показания измерительной головки контрольного приспособления при установках и закреплении резца – $\delta_{x_1}; \delta_{y_2}; \dots \delta_{y_{10}}$	
4. Погрешность позиционирования (настройки) $\delta_n = 1,2\sqrt{\delta_s^2 + \delta_p^2 + \delta_y^2}$	

Таблица 36

## Допуски на размеры пластин

Классы допусков	Предельные отклонения, мм, для параметров		
	<i>m</i>	<i>d</i>	<i>S</i>
<i>A</i>	±0,005	±0,025	±0,025
<i>F</i>	±0,005	±0,013	±0,025
<i>M</i>	±0,08...0,18	±0,05...0,13	±0,13
<i>U</i>	±0,13...0,38	±0,08...0,25	±0,13

7. Измерить погрешность размерной настройки после поворота пластины.

Резец закрепляют в револьверной головке станка и записывают показания измерительной головки.

На резце первую пластину поворачивают и закрепляют 3 раза. После каждого поворота измеряют размер резца и записывают показания измерительной головки. Разность показаний измерительной головки представляет собой погрешность размерной настройки после поворота пластины.

На резец устанавливают и закрепляют вторую пластину. При неизменной настройке измерительной головки и резца записывают ее показания. Измерительная головка покажет погрешность размерной настройки при замене пластин классов допусков *A* или *F*.

Результаты работы и расчеты записывают в табл. 37.

### Результаты измерений и расчетов

Измеряемый или рассчитываемый параметр и формула для его расчета	Полученное значение параметра, мм
1. Размеры первой пластины: $d_1, K_1, S_1, m_1$	
2. Размеры второй пластины: $d_2, K_2, S_2, m_2$	
3. Показания измерительной головки настроенного приспособления для резца с первой пластиной: $\delta_{11}$	
4. Показания измерительной головки после поворота и закрепления пластины: $\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{14}$	
5. Показания измерительной головки для резца со второй пластиной: $\delta_{121}$	
6. Тоже после поворота и закрепления пластины: $\delta_{122}, \delta_{123}, \delta_{124}$	
7. Погрешность после поворота первой пластины: $\delta_{1n} = \delta_{11\max} - \delta_{11\min}$	
8. Погрешность после замены первой пластины на вторую: $\delta_{13} = \delta_{12\max} - \delta_{11\min}$	

### Структура отчета

1. Цель работы.
2. Размерная цепь инструментальной наладки с описанием ее составляющих.
3. Результаты расчетов размерной цепи.
4. Эскиз резца и резцедержателей.
5. Таблицы исследований.
6. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит размерная цепь инструментальной наладки?
2. Назовите методы и способы расчета размерных цепей и их применение.
4. Из каких элементов состоит система обеспечения инструментов?
5. Назовите требования, предъявляемые к инструментальному обеспечению автоматических производств.

6. Назовите требования к вспомогательному инструменту для автоматизированных производств.
7. Опишите устройство прибора для настройки резца вне станка.
8. Раскройте методику исследования погрешности настройки инструмента.

### **Указания по технике безопасности**

1. Перед началом работы изучить методические указания, особенно по выполнению практической части.
2. Практическая часть лабораторной работы на станках выполняется организованно под руководством учебного мастера.
3. Включать, переключать и выключать станок в процессе лабораторной работы без разрешения учебного мастера не разрешается.
4. При проведении экспериментов на станке следует соблюдать все меры предосторожности.
5. К вращающимся частям станка в процессе лабораторной работы не прикасаться.
6. По окончании лабораторной работы студенты должны привести в порядок станок.

### **Литература**

1. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 110 с.
2. Михайлов, М. И. Повышение прочности сборного режущего инструмента / М. И. Михайлов ; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 174 с.
3. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ : справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – М. : Машиностроение, 1985. – 260 с.



# **Лабораторная работа № 10**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА НА СТАНКЕ ТИПА «ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР»**

Намеченный рост автоматизации производства на фазе развития электроники и микропроцессорной техники повышает требования к оснастке, которая должна обеспечить высокую мобильность оборудования при малой ее номенклатуре. Кроме того, для инструментообеспечения автоматических производств требуется высокопроизводительный и высоконадежный инструмент. Этим требованиям отвечают конструкции сборного инструмента, для которого важнейшими показателями являются жесткость крепления режущих пластин и их взаимозаменяемость при высокой точности обработки.

*Цель работы:*

1. Изучить источники погрешности установки осевого инструмента.
2. Ознакомиться с приборами, используемыми при исследовании погрешности установки инструмента на станке.
3. Исследовать влияние точности изготовления хвостовика осевого инструмента на точность его позиционирования.

### **Порядок выполнения работы**

1. Получить исходные данные у преподавателя (размер и допуск обработанной поверхности, материал заготовки, модель станка).
2. Изобразить инструментальную наладку [1], [2]. На рис. 109 показана подсистема вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ, построенная на базе унифицированных хвостовиков. Система включает в себя оправки для насадных фрез (рис. 109, 1, 2, 3), предназначенные для крепления торцовых, трехсторонних, периферийных и других фрез с торцовыми или продольными шпонками. Цанговые патроны (рис. 109, 4, б) являются основным средством крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком: стандартных сверл, зенкеров, разверток и фрез диаметром до 20 мм и специальных фрез диаметром 20...40 мм. Для крепления специальных концевых фрез предназначены втулки 5 с боковым прижимом винтами. Нерегулируемые переходные втулки 7 и 8 предназначены для инструмента с конусом Морзе от 2 до 5. В системе предусмотрена широкая номенклатура расточных оправок и головок для чистовой и черновой обра-

ботки. Оправки *11* и *12* для чистовой обработки отверстий диаметром 45...350 мм. Эти оправки могут быть изготовлены с прямыми и наклонными гнездами под резцовые расточные вставки с микрометрической регулировкой. В однолезвийных оправках *10* для черного растачивания отверстий диаметром 80...180 мм предусмотрено использование стандартных расточных державочных резцов.

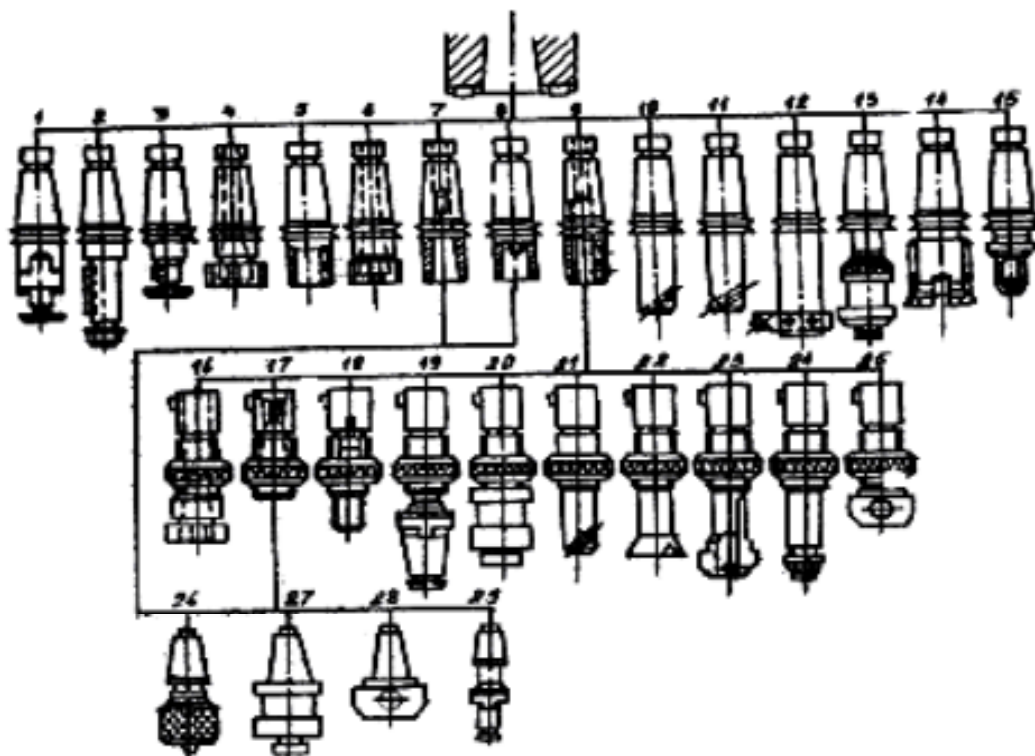


Рис. 109. Подсистема вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ

Для предварительной обработки отверстий диаметром 80...250 мм в систему включены двухзубые расточные головки *14*, оснащенные сменными многогранными пластинами. Предусмотрена установка пластин с углом в плане  $\phi = 75^\circ$  и  $90^\circ$ . Подрезку торцовых пальцевых поверхностей рекомендуется осуществлять расточными пластинами, закрепленными в специальных оправках *13*, или универсальными расточными головками *15* с поперечным ходом каретки. В приведенной системе инструментальной оснастки применен принцип агрегатирования. Преимуществами выбранного направления агрегатирования вспомогательного инструмента являются: универсальность вспомогательного инструмента и его взаимозаменяемость; снижение себестоимости инструмента за счет уменьшения номенклатуры с конусом 7 : 24 и соответствующего повышения серийности выпуска инструмента; возможность предварительной наладки осевых размеров инструментов.

В качестве переходной державки используется державка 9, состоящая из конуса с внутренним цилиндрическим отверстием 36 и 48 мм и винтов для фиксации положения закрепляемого хвостовика. В державке закрепляются переходные цилиндрические втулки 17, 18, цанговые патроны 16, оправки для насадных зенкеров и разверток 19, патроны для метчиков 20, оправки расточные 21, головки расточные 22, оправки для перовых сверл 23 и насадных фрез 24 и расточные патроны 25. Из инструмента с конусом Морзе в систему включены сверлильные патроны 26, патроны для метчиков 27, расточные патроны 28 и оправки для насадных разверток 29.

Развернутая система инструментальной оснастки показана на рис. 110. На этой схеме показан не только вспомогательный, но и режущий инструменты.

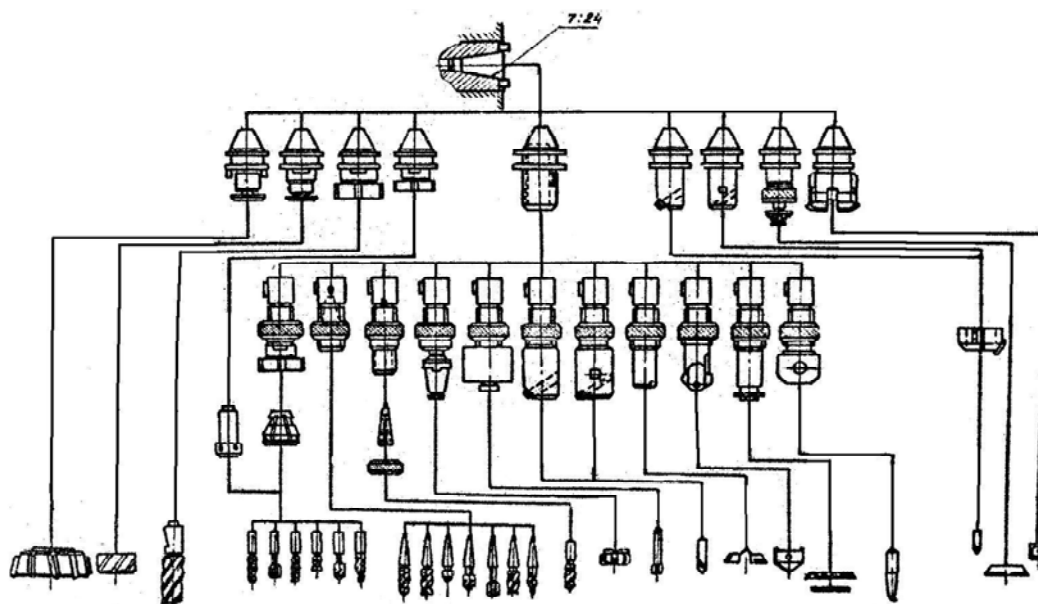


Рис. 110. Система инструментальной оснастки

### 3. Рассчитать размеры и допуски на размеры наладки.

#### 3.1. Изобразить размерные цепи инструментальной наладки.

На рис. 109 приведены размерные цепи типовой инструментальной наладки. Замыкающими звеньями этих размерных цепей являются выдерживаемые расстояния  $A_{\Delta}$  и угол  $\rho_{\Delta}$ . Расчеты цепи позволяют определить точности сопрягаемых поверхностей.

**3.2.** Рассчитать размерные цепи. Линейная размерная цепь включает в себя смещение осей свободного конца борштанги и ее хвостовика ( $A_1$ ), смещение оси хвостовика относительно посадочного отверстия в державке ( $A_2$ ), смещение оси посадочного отверстия державки и оси ее хвостовика ( $A_3$ ), смещение оси хвостовика и оси отверстия шпинделя ( $A_4$ ). Угловая

размерная цепь включает в себя угловые характеристики соответствующих осей (рис. 111).

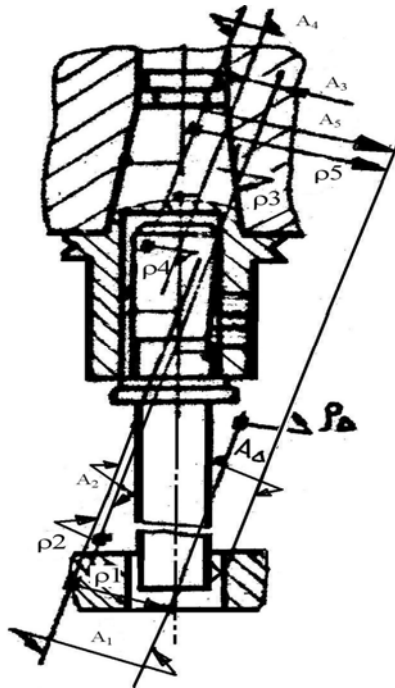


Рис. 111. Схема размерных цепей

Угловые ошибки составляющих звеньев (перекосы осей) и векторные ошибки (параллельное смещение осей) суммируются путем приведения перекосов осей к векторному виду в плоскости замыкающего звена (биения режущей части) через передаточные отношения:

$$\bar{e}_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{A_i^2 K_i^2 \bar{e}_i^2 + \sum_{i=1}^n A_{x_i}^2 K_{x_i}^2 e_{x_i}^2}, \quad (3)$$

где  $\bar{e}_{\Sigma}$  – половина допустимой величины биения режущей части;  $K_{\Sigma}$  – коэффициент относительного рассеивания замыкающего звена;  $A_i K_i \bar{e}_i$  – принятое за скалярную величину наибольшее произведение одной из векторных величин  $e_i$  на ее передаточное отношение  $A_i$  и коэффициент относительного рассеивания  $K_i$ ;  $K_{x_i}$  – приведенный коэффициент относительного рассеивания, одинаковый для всех звеньев с векторными ошибками.

Параметры замыкающего звена:

$$K_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^n e_i} \left( \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2 e_i^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \right); \quad (4)$$

$$\alpha_{\Sigma} = 0,59 \sum_{i=1}^n \alpha_i \bar{e}_i / \left( \sum_{i=1}^n \bar{e}_i \right), \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент относительной асимметрии кривой распределения.

Для каждого звена необходимо выбрать параметры распределения  $K_i$  и  $\alpha_i$ . Для деталей, обрабатываемых шлифованием и контролируемых с помощью универсальных средств измерения, значения  $K_i$  и  $\alpha_i$  приведены в табл. 38. Зависимости точности центрирования конусов от величины погрешности их изготовления приведены в табл. 39.

Таблица 38

**Параметры распределения производственного допуска при обработке присоединительных поверхностей вспомогательного инструмента**

Способ получения поверхности	Вид поверхности	Параметры распределений	
		$K$	$\alpha$
Наружное шлифование в центрах	Конус Морзе	1,17	+0,25
	Конус 7 : 24	1,51	-0,05
	Конус 1 : 5	1,37	+0,15
	Цилиндрическая	1,09	+0,12
Внутреннее шлифование	Конус Морзе	1,17	-0,25
	Конус 7 : 24	1,17	-0,09
	Конус 1 : 5	1,21	-0,15
	Цилиндрическая	1,09	-0,12
Бесцентровое шлифование	Конус Морзе	1,03	+0,19

Таблица 39

**Значение биения  $2e$  инструмента на вылете 100 мм в зависимости от погрешности изготовления конусов, мкм**

Конусность	Степень точности конусов							
	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10
7 : 24	1	1,2	1,3	2,6	5,0	12,0	–	–
1 : 20	–	–	9,5	10,5	15,0	18,0	20,0	24,5
1 : 5	–	–	8,0	9	10,0	12,0	13,0	17,0

Рассмотрим численный пример расчета биения оправки, закрепленной в цанговом патроне (рис. 112) [1]. Биение конического отверстия станка с ЧПУ класса точности  $H$  у торца составляет 0,008 мм, на вылете 300 мм – 0,01 мм, т. е. допустимый перекося равен 0,001 мм на 300 мм длины.

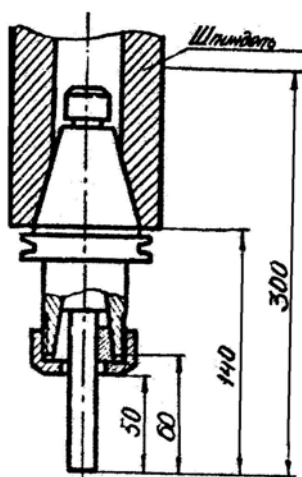


Рис. 112. Расчетная схема осевого инструмента

Погрешность изготовления конических поверхностей с конусностью  $7 : 24$  принимаем по  $AT7$ , что соответствует максимальной разнице углов внутреннего и наружного конусов  $16''$  и значению перекоса в коническом соединении  $0,0025$  мм на вылете  $100$  мм [1]. Максимальное биение конического отверстия конуса цангового патрона относительно оси конуса хвостовика – не более  $0,01$  мм. Погрешность изготовления конических поверхностей цанги и корпуса цангового патрона с конусностью  $1 : 5$  принимаем по степени точности  $AT8$ . Максимальное биение цилиндрического отверстия цанги относительно наружного конуса цанги – не более  $0,01$  мм.

Все данные для расчета точности крепления инструмента в цанговом патроне сведем в табл. 40.

По формуле (4) и данным табл. 40 определяем значение  $K_{\Sigma} = 1,04$ . В качестве скалярной величины принимаем биение конического отверстия корпуса цангового патрона. Биение оправки находим по формуле (3):

$$2\bar{e} = \frac{2}{1,04} \sqrt{(1 \cdot 1,14 \cdot 5)^2 + (1 \cdot 0,63 \cdot 1,1)^2 + (4 \cdot 1,17)^2 + (2,5 \cdot 1,51 \cdot 1,4)^2 + \sqrt{(6 \cdot 1,37 \cdot 0,6)^2 + (5 \cdot 1,09 \cdot 1)^2}} = 22,4 \text{ мкм.}$$

**Данные для расчета величины биения инструмента,  
закрепленного в цанговом патроне**

Биение	Ошибка	$e_i$	$\alpha_i$	$k_i$	$A_i$
Шпиндель от перекоса оси	Угловая	$\frac{1 \text{ мкм}}{300 \text{ мм}}$	-0,28	1,1	0,63
Конического отверстия шпинделя	Векторная	4 мкм	-0,09	1,17	1
Корпуса цангового патрона от перекоса при установке конуса 7 : 24	Угловая	$\frac{2,5 \text{ мкм}}{100 \text{ мм}}$	-0,05	1,51	1,4
Оси конического отверстия в корпусе цангового патрона относительно оси конического хвостовика 7 : 24	Векторная	5 мкм	-0,28	1,14	1
Оси цанги от перекоса при установке в корпусе с конусностью 1 : 5	Угловая	$\frac{6}{100} \text{ мкм/мм}$	+0,15	1,37	0,6
Оси цилиндрического отверстия в цанге относительно оси наружной конической поверхности цанги	Векторная	5 мкм	-0,12	1,09	1

Бесподналадочная смена осевого инструмента вдоль его оси обеспечивается регулированием на размер с помощью регулировочного винта 2 (рис. 113, а) или упорной гайки (рис. 113, б).

Погрешность бесподналадочной смены инструмента не определяет точности обработки, которая зависит от жесткости технологической системы, режимов резания и др. Базирование инструмента должно быть таким, чтобы силы резания воспринимались базовыми поверхностями вспомогательного инструмента, а элементы крепления инструмента были от них разгружены. Назначение элементов крепления – прижать базовые поверхности режущего к базовым поверхностям вспомогательного инструмента. Быстросменность осевого инструмента обеспечивается применением цилиндрических хвостовиков с передачей крутящего момента шпонкой. Винты 1, 2 обеспечивают отсутствие сдвига инструмента при его отводе по окончании обработки (рис. 113, а).

Одним из путей реализации быстросменной бесподналадочной замены инструмента в условиях автоматизированного производства является применение многогранных твердосплавных пластин.

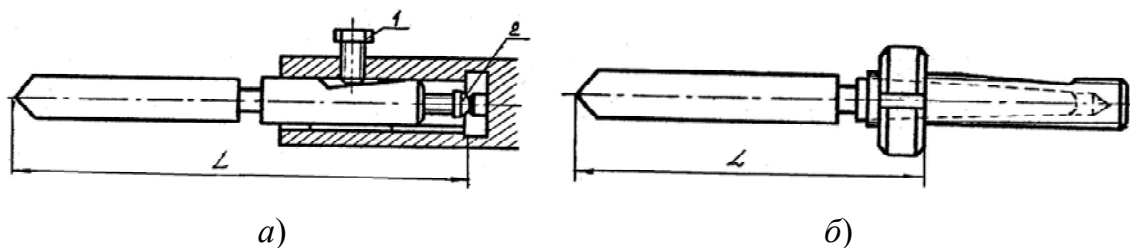


Рис. 113. Схемы регулировки осевого инструмента:  
*а* – с помощью винта; *б* – с помощью гайки

Для осуществления бесподналадочной смены пластин необходимо применять их только высоких классов допусков (*A* или *F* по ГОСТ 19042–80). Система крепления должна обеспечивать точную установку и базирование пластин по боковым и опорной граням.

Норма времени на настройку инструмента для станков с ЧПУ составляет 5–10 мин. Нормы времени на ручную смену инструмента на станках с ЧПУ приведены в табл. 41.

Таблица 41

#### Нормы времени на ручную смену инструмента

Вид инструмента	Время смены инструмента при закреплении стопорными винтами, мин
1. Сверла, метчики, зенкеры, развертки	1–1,5
2. Цековки	3,6
3. Фрезы:	
а) торцовые	4
б) дисковые при креплении на оправке с передней опорой	10
в) дисковые при консольном креплении	5

Норма времени на смену инструмента в быстросменных патронах составляет 0,2–2 мин, а на смену многогранной пластины – 0,5–1 мин.

Для обеспечения гибкости инструментального обеспечения многоцелевых станков система вспомогательного инструмента унифицирована. Важнейшим фактором унификации оснастки является стандартизация присоединительных поверхностей инструмента.

Степень точности хвостовиков *AT5* установлена для станков класса точности *H* и *П*, а *AT4* – для станков точности *B* и *A*. Конструкция и размеры хвостовиков приведены на рис. 114 и в табл. 42. Унифицированы также цилиндрические хвостовики вспомогательного инструмента, конструкция и размеры которых приведены на рис. 115 и в табл. 43.



Вспомогательный инструмент изготавливают из стали 18ХГТ с цементацией и закалкой до HRC<sub>3</sub>, 53...57, зажимные цанги – из стали 60С2А с термообработкой до твердости HRC<sub>3</sub>, 49...53. Гайки и винты делают из стали 40Х с термообработкой до твердости HRC<sub>3</sub>, 37...41,5.

Таблица 42

Размеры хвостовиков, мм

Обозначение конуса по ГОСТ 25827–83	$D$ (предельное отклонение $\pm 0,15$ )	$D_1$	$D_2$ (предельное отклонение $h12$ )	$D_3$ (предельное отклонение $h8$ )	$D'_4$	$d_1$	$d_2$ (предельное отклонение $j_85$ )
30	50	31,75	46	55,07	44	13	4
40*	63	44,45	58	69,34	55	17	5
45	80	57,15	74	87,61	68	21	6
50*	100	69,85	94	107,61	85	25	6

Продолжение табл. 42

Обозначение конуса по ГОСТ 25827–83	$L$ (предельное отклонение $h11$ )	$l'_1$ , не менее	$l_2$ (предельное отклонение $-0,3$ )	$l_3$	$a_1$ (предельное отклонение $\pm 0,1$ )	$l$ (предельное отклонение хвостовой части повышенной точности $\pm 0,1$ , а нормальной точности $+0,4; -0,1$ )	Торцовое биение поверхности $B$ относительно поверхности $A$	
							повышенной точности	нормальной точности
30	68,4	8	15,5	6	5,6	8	0,01	0,02
40*	93,4	10	18,5	8	6,6	10	0,01	0,02
45	106,8	13	24,0	10	9,2	12	0,01	0,02
50*	126,8	16	30,0	11	9,2	12	0,01	0,02

Примечание. Размеры  $D'_4$  и  $l'_1$  определяют пространство для захвата манипулятором; \* – хвостовики предпочтительного применения.

Таблица 43

Размеры цилиндрических хвостовиков, мм

$d \frac{H6}{g5}$	$d_{\text{проп}}$	$D$	$l$	$l_1$	$l_2$	$\frac{C11}{g9}$
36	36x3	63	106	20	30	8
48	48x3	126	126	20	37	10

Режущие инструменты, установленные в шпинделе станка, должны обеспечивать геометрическую точность, приведенную к вылету режущих кромок (см. табл. 44).

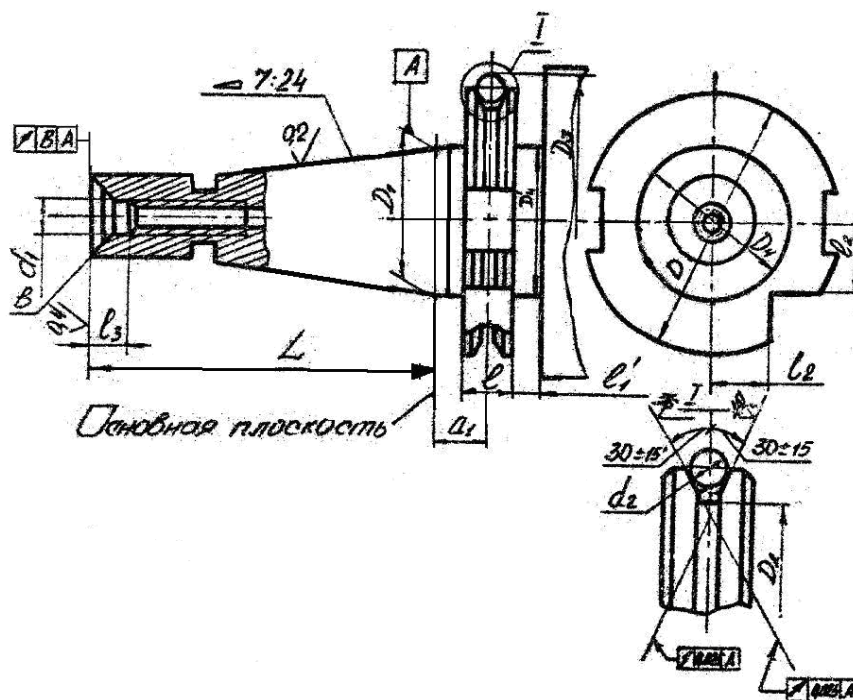


Рис. 114. Эскиз конического хвостовика

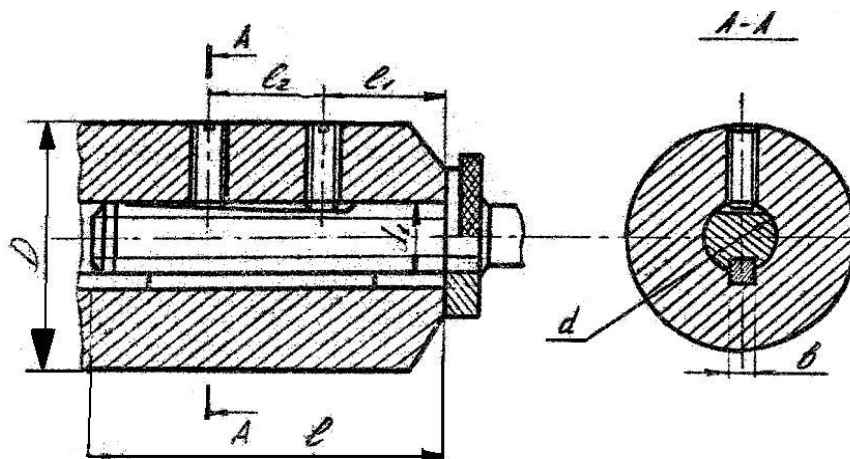


Рис. 115. Эскиз крепления осевого инструмента

Биение присоединительных поверхностей для инструмента в переходных втулках и оправках относительно конусов 7 : 24 установлено 0,01 мм. Точность изготовления цилиндрических поверхностей установлена по H6 и h6 и параметру шероховатости  $R_a = 0,32 - 1,25$  мкм по ГОСТ 2789-82.

## Допустимое биение режущих кромок, мм

Тип инструмента	Допустимое биение $e$ , мм
1. Сверла:	
– с цилиндрическим хвостовиком диаметром 6...18 мм	0,056
– с коническим хвостовиком диаметром 18...30 мм	0,071
2. Зенкера и развертки диаметром, мм:	
– до 50	0,062
– до 120	0,071
3. Расточные оправки:	
– для получистой обработки отверстий диаметром 22...180 мм	0,03
– для чистовой обработки отверстий диаметром, мм:	
25...80	0,005
80...180	0,01

Соединение цилиндрических поверхностей инструмента с переходными втулками и с закреплением цилиндрического хвостовика инструмента двумя винтами обеспечивает односторонний натяг.

Установлено, что наибольшую осевую точность обеспечивают цилиндрические присоединительные поверхности с минимальными зазорами, а наименьшую – поверхности, выполненные в виде конусов Морзе.

**4.** Произвести измерение точности инструментальной наладки.

**4.1.** Измерить с помощью измерительной головки биение внутренних поверхностей посадочного отверстия шпинделя станка на расстоянии 5 мм от его торца.

**4.2.** Установить в шпиндель станка переходную втулку и закрепить ее.

**4.3.** Поворачивая шпиндель, измерительной головкой измеряют биение конуса Морзе в переходной втулке на расстоянии 5 мм от ее торца. Величину биения записывают. Биение конуса Морзе является результатом биения конического отверстия в шпинделе станка, биения отверстия с конусом Морзе в переходной втулке относительно хвостовика с конусом 7 : 24 и биения от перекоса оси втулки при сопряжении конических поверхностей шпинделя и переходной втулки, вызванного угловыми погрешностями конусов 7 : 24.

Величину перекоса осей при сопряжении конических поверхностей шпинделя и переходной втулки рассчитывают по формуле

$$\theta_B = \frac{\delta_B - (\delta_{III} + 0,01)}{2}, \quad (6)$$

где  $\delta_{III}$  – биение конического отверстия в шпинделе;  $\delta_B$  – биение конического отверстия в переходной втулке.

Величина вылета переходной втулки относительно торца шпинделя составляет 60 мм. При пересчете на вылет 100 мм перекося  $\theta = \theta'_B \cdot A$ , где  $A$  – передаточное отношение;  $A = 100 : 60 = 1,67$ .

**4.4.** Устанавливают в переходную втулку контрольную оправку № 1 (общей длиной 225 мм и диаметром 23,9 мм с конусом Морзе № 3 с лапкой). Биение цилиндрической части оправки относительно конуса Морзе. Степень точности конуса Морзе – АТ6. Измеряют ее биение на расстоянии 100 мм от торца втулки. Биение контрольной оправки является результатом биения конического отверстия во втулке, биения цилиндрической части относительно конуса Морзе, перекося оси переходной втулки относительно конуса шпинделя и перекося поверхностей конусов Морзе при их сопряжении.

Перекося оси, мкм/мм, оправки от погрешностей изготовления конусов Морзе:

$$\theta_{01} = \frac{\delta_{01} - (\delta_B + 0,01 + 2\theta A_1)}{2 \cdot 100}, \quad (7)$$

где  $\delta_{01}$  – биение контрольной оправки на расстоянии 100 мм от торца втулки;  $A_1$  – передаточное отношение, равное расстоянию от торца шпинделя до сечения контрольной оправки, в котором измерялось ее биение;  $A_1 = 160 / 100 = 1,6$ .

**4.5.** Выполняют действия, аналогичные п. 4.4, но с контрольными оправками № 2 и 3 (геометрические размеры оправок № 2 и 3 аналогичны оправке № 1, только степени точности конусов Морзе, соответственно, равны АТ7 и АТ8). Рассчитывают перекося осей оправок  $\theta_{02}$  и  $\theta_{03}$ .

**4.6.** В шпиндель станка устанавливают и закрепляют державку конусом 50, и измерительной головкой проверяют биение  $\delta_D$  отверстия диаметром 36 мм на расстоянии 5 мм от торца державки. Это биение является результатом биения отверстия с конусом 7 : 24 в шпинделе станка, биения отверстия диаметром 36 мм относительно конуса державки и биения от перекося оси державки, вызванного угловыми погрешностями конусов 7 : 24 при сопряжении их поверхностей. Так как габаритные размеры державки такие же, как размеры переходной втулки, величины  $\theta'_D$  и  $\theta_D$  рассчитывают аналогично п. 4.3.

**4.7.** В отверстие державки устанавливают и закрепляют контрольную оправку № 4 (длина оправки – 225 мм и диаметр – 23,9 мм с цилиндрическим хвостовиком диаметром  $36_{-0,02}^{-0,01}$  и длиной 116 мм), предварительно измерив биение диаметра оправки относительно хвостовика. Измеряют биение  $\delta_{04}$  оправки на расстоянии 100 мм от торца державки. Это биение является результатом биения отверстия с конусом 7 : 24 в шпинделе станка, биения отверстия диаметром 36 мм относительно конуса хвостовика оправки, перекоса оси державки  $\theta_D$ , биения контрольной оправки относительно ее цилиндрического хвостовика и биения при сопряжении цилиндрических поверхностей диаметром 36 мм державки и контрольной оправки.

Биение контрольной оправки № 4 при сопряжении цилиндрических поверхностей:

$$\delta_{4Ц} = \delta_{04} - (\delta_{Ш} + 0,02 + \theta_D A_1), \quad (8)$$

где  $\delta_{4Ц}$  – биение диаметра оправки относительно ее хвостовика;  $A_1 = 160 : 100 = 1,6$ .

**4.8.** Выполняют действия, аналогичные п. 4.7, но с контрольными оправками № 5 и 6 (геометрические размеры оправок № 5 и 6 аналогичны оправке № 4, только диаметры цилиндрических хвостовиков имеют соответствующие допуски:  $\varnothing 36_{-0,04}^{-0,03}$  и  $\varnothing 36_{-0,07}^{-0,06}$ ).

**4.9.** Запись и обработку полученных данных производят в соответствии с табл. 45.

Таблица 45

Результаты измерений и расчетов

Измеряемый или рассчитываемый параметр и формула для его расчета	Полученное значение параметра, мм
1. Биение отверстия с конусом 7 : 24 в шпинделе станка на расстоянии 5 мм от торца: $\delta_{Ш}$	
2. Биение отверстия с конусом Морзе № 3 в переходной втулке на расстоянии 5 мм от торца втулки: $\delta_B$	
3. Биение отверстия с конусом Морзе № 3 относительно хвостовика с конусом 7 : 24 переходной втулки	
4. Вылет торца переходной втулки относительно торца шпинделя	
5. Величина перекоса оси втулки вследствие погрешностей изготовления конусов 7 : 24 при их сопряжении и вылете 60 мм; $\theta'_B$ (см. формулу (6))	

Измеряемый или рассчитываемый параметр и формула для его расчета	Полученное значение параметра, мм
6. Пересчет величины перекоса оси втулки при величине вылета 100 мм $\theta_B = \theta'_B \cdot 1,67$	
7. Биение $\delta_{01}$ контрольной оправки № 1 при установке ее во втулку	
8. Величина перекоса оси оправки № 1 от погрешностей изготовления конусов Морзе $\theta_{01}$ мкм/мм (см. формулу (7))	
9. Биение $\delta_{02}$ для оправки № 2 (см. п. 7)	
10. Перекос $\theta_{02}$ для оправки № 2 (см. п. 8)	
11. Биение $\delta_{03}$ для оправки № 3 (см. п. 7)	
12. Перекос $\theta_{03}$ для оправки № 3 (см. п. 8)	
13. Биение $\delta_D$ отверстия диаметром 36 мм в державке с конусом 50, установленной в шпинделе станка на расстоянии 5 мм от торца державки	
14. Биение отверстия диаметром 36 мм относительно хвостовика с конусом 50 державки	
15. Величина перекоса оси державки вследствие погрешностей изготовления конусов 7 : 24 при их сопряжении и вылете 60 мм: $\theta'_D$ (см. формулу (6))	
16. Пересчет величины перекоса оси державки при величине вылета 100 мм $\theta_D = \theta'_D \cdot 1,67$	
17. Биение $\delta_{04}$ контрольной оправки № 4, установленной в державку на расстоянии 100 мм от торца державки	
18. Биение $\delta_{4Ц}$ контрольной оправки № 4 при сопряжении цилиндрических поверхностей (см. формулу (8))	
19. Биение $\delta_{05}$ оправки № 5	
20. Биение $\delta_{5Ц}$ для оправки № 5 (см. п. 18)	
21. Биение $\delta_{06}$ оправки № 6 (см. п. 17)	
22. Биение $\delta_{6Ц}$ для оправки № 6 (см. п. 18)	

5. Установить блок с расточной борштангой с цилиндрическим хвостовиком на прибор и произвести настройку на размеры  $L$  и  $R$  (указанные преподавателем).

6. Установить настроенный блок, состоящий из державки и борштанги, в шпиндель обрабатывающего центра и запрограммировать его на перемещения по координатам  $X = -1000$  и  $Y = -1000$ . После окончания перемещений стола на нем установить измерительную головку и настроить ее на ноль по вершине инструмента.

7. Возвратить стол в исходное состояние и снять блок.

8. Установить блок на прибор и произвести настройку на размеры  $(L + 10 \text{ мм})$  и  $(R + 10 \text{ мм})$ .

9. Установить настроенный блок в шпиндель станка и программировать коррекцию на инструмент. Для программирования коррекции в УЧПУ станка имеются функции  $G_{45} - G_{52}$  (причем функция  $G_{45}$  позволяет производить коррекцию диаметра или радиуса со знаком «+», т. е. запрограммированный ранее размер суммируется с заданной величиной коррекции).

$G_{46}$  – функция коррекции со знаком «-» при основном размере со знаком «+».

$G_{47}$  – функция коррекции со знаком «-» при основном размере со знаком «-» (обозначим это  $-/-$ ).

$G_{48} - -/+ , G_{49} 0/+ , G_{50} 0/- , G_{51} +/0 , G_{52} -/0$  (0 указывают, что величины коррекции или основного размера не будут учтены). Кроме того, функциями  $G_{17}, G_{18}, G_{19}$  задается плоскость обработки или коррекции, соответственно:  $XY, XZ$  и  $YZ$ .

10. Проверить с помощью измерительной головки погрешность настройки после перемещения стола.

## Структура отчета

1. Цель работы.
2. Эскиз инструментального блока.
3. Размерные цепи инструментальной наладки.
4. Расчеты размерных цепей
5. Эскизы переходной втулки, державки и контрольных оправок.
6. Схема измерений и описание эксперимента.
7. Характеристики приборов и оборудования, используемых в лабораторной работе.
8. Таблицы результатов экспериментов.
9. Выводы о влиянии конструкции хвостовиков инструмента на точность его позиционирования. Указать, для каких видов инструмента можно рекомендовать конструкции и точность изготовления исследованных хвостовиков.

## **Контрольные вопросы**

1. Постройте размерные цепи инструментальной наладки.
2. Назовите методы расчета размерных цепей.
3. Назовите степени точности конусов.
4. Назовите способы обеспечения бесподналадочной работы осевого инструмента.
5. Назовите материалы для изготовления инструментальной оснастки станков с ЧПУ.
6. Назовите составные элементы подсистемы вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ.

## **Указания по технике безопасности**

1. Перед началом работы изучить методические указания, особенно по выполнению практической части.
2. Практическая часть лабораторной работы на станке выполняется организованно под руководством учебного мастера.
3. При проведении экспериментов на станке следует соблюдать все меры предосторожности.
4. По окончании лабораторной работы студенты должны привести в порядок станок.

## **Литература**

1. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ : справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – М. : Машиностроение, 1985. – 260 с.
2. Режущий инструмент и инструментальное обеспечение автоматизированного производства / Е. Э. Фельдштейн [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1993. – 424 с.



# Лабораторная работа № 11

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Погрешности размеров деталей, называемые деформацией инструментальных блоков, составляют более половины суммарной погрешности обработки, поэтому жесткость (или обратная ее величина – податливость) инструментальных блоков является важнейшей характеристикой качества вспомогательного инструмента.

*Цель работы:*

1. Изучить влияние конструкции и точности изготовления присоединительных поверхностей инструментальных блоков на их податливость.
2. Исследовать податливость инструментов с цилиндрическими хвостовиками, устанавливаемыми в переходных державках вспомогательного инструмента.

### Порядок выполнения работы

1. Получить исходные данные у преподавателя (размер и припуск обработанной поверхности, материал заготовки, модель станка).
2. Изобразить инструментальную наладку.
3. Рассчитать режим резания инструментальной наладкой [1].

Определить результирующую составляющую сил резания

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}.$$

4. Рассчитать статическую погрешность инструментальной наладки.

Инструментальная наладка как элемент технологической оснастки под действием силы резания испытывает следующие виды деформации: объемную и контактную. Объемная деформация, в свою очередь, состоит из деформации изгиба, растяжения-сжатия и кручения. Контактная деформация также имеет сложное понятие, которое для удобства анализа можно рассматривать как смещение на краю стыков и поворот осей контактных поверхностей.

Величина контактных деформаций зависит от многих факторов: величины и вида нагружения, величины и распределения давлений, величин зазоров, точности обработки и размеров сопрягаемых по-

верхностей. Поворот осей контактных поверхностей в стыках деталей вспомогательного инструмента вызывает существенные перемещения в точке приложения силы, в ряде случаев соизмеримые, и даже больше, чем прогиб самих режущих инструментов на свободной длине. Упругое контактное перемещение вспомогательного инструмента и закрепленного в нем режущего инструмента под действием силы  $P$ , приложенной на некотором удалении от конца стыка  $l$ , определится по формуле [2]:

$$\delta = \delta_0 + \theta l, \quad (9)$$

где  $\delta_0$  – смещение на краю стыка в результате контактной податливости, мм;  $\theta$  – угол поворота в стыке, мкм/мм.

Для конических соединений:

$$\delta_0 = \frac{0,4P\beta C}{\pi D}(\beta LC_1 + C_2); \quad (10)$$

$$\theta = \frac{0,4P\beta^2 C}{\pi D}(2\beta LC_3 + C_1), \quad (11)$$

где  $\beta = \frac{1}{3} \sqrt[4]{\frac{1}{1,3kD^3}}$ ;  $k$  – коэффициент контактной податливости, мм<sup>3</sup>/Н

(для конусов Морзе  $k = 0,0003 \dots 0,0006$ , а для конусов 7:24 –  $k = 0,0002$ );  $C_1, C_2, C_3$  – коэффициенты, учитывающие изменение диаметра по длине конического соединения (для конусов Морзе  $C_1, C_2, C_3 = 1$ ; для конусов 7:24  $C_1, C_2 = 1,35$  и  $C_3 = 1$ );  $D$  – наибольший диаметр конуса, мм.

Данные о податливости различных соединений (углах поворота), отнесенных к нагружаемому моменту  $M = Pl$ , приведены в табл. 46 и приложении 1.

Таблица 46

Податливость  $\theta/M$  в конусах 7 : 24, 1 / кН · м

Конус 7 : 24	Точность изготовления			
	AT5	AT6	AT7	AT8
40	0,00121	0,00133	0,00142	0,00191
50	0,00020	0,00027	0,00035	–

Рассмотрим пример расчета податливости борштанги (рис. 116). Действие силы резания  $P_z$  вызывает изгиб и кручение борштанги ( $M_{кр} = P_z l_1$ ).

Относительный угол закручивания борштанги

$$\theta' = \frac{M_{\text{кр}}}{GJ_p}, \quad (12)$$

где  $G$  – модуль упругости при сдвиге;  $J_p$  – полярный момент инерции (для сплошного стержня  $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$ ).

Полный угол закручивания борштанги

$$\varphi = \theta' l = \frac{M_{\text{кр}} l}{GJ_p}. \quad (13)$$

Изменение угла закручивания приводит к изменению сил резания и точности предварительно настроенного размера.

Сила  $P_z$  вызывает перемещение борштанги в вертикальной плоскости. Принимаем, что борштанга жестко закреплена в переходной втулке, тогда относительно ее переднего торца борштангу можно рассматривать как защемленную балку. Запишем уравнение, выражающее перемещение конца оправки от изгиба и контактных деформаций:

$$\delta_{\text{в}} = \frac{P_z l^3}{3EJ_{\text{в}}} + \frac{P_z \theta_{\text{в}}}{M} l^2 \cdot 10^{-3}, \quad (14)$$

где  $E = 2,1 \cdot 10^2$  ГПа – модуль упругости первого рода для стального стержня;  $J_{\text{в}}$  – момент инерции стержня борштанги,  $\text{мм}^4$ ;  $\frac{\theta_{\text{в}}}{M}$  – податливость в контакте,  $1/\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Сила  $P_y$  вызывает изгиб в горизонтальной плоскости с перемещением:

$$\delta'_{\text{г}} = \frac{P_y l^3}{3EJ_{\text{г}}} + \frac{P_y \cdot \theta_{\text{г}}}{M} l^2 \cdot 10^{-3}. \quad (15)$$

Сила резания  $P_x$  создает изгибающий момент ( $M'_{\text{из}} = P_x l_1$ ) и осевую силу.

Прогиб, вызванный действием силы  $P_x$ , будет равен:

$$\delta''_{\text{г}} = \frac{M'_{\text{из}} l^2}{2EJ_{\text{г}}} + \frac{M'_{\text{из}} \cdot \theta_{\text{г}}}{M} l \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

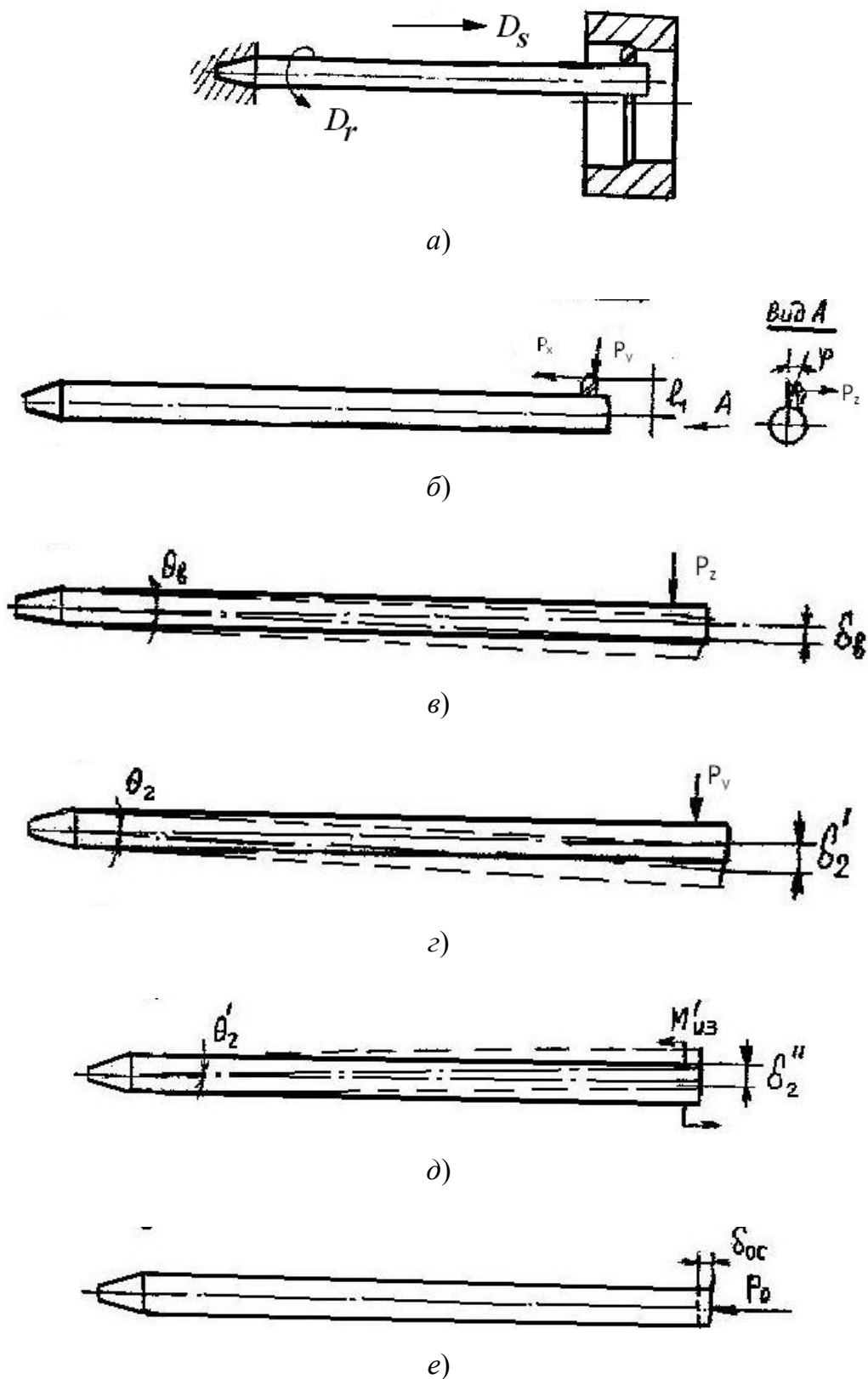


Рис. 116. Схема к расчету податливости расточной борштанги:  
 а – схема обработки; б – схема действия сил;  
 в, г, д, е – перемещения от сил  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$

Общее перемещение конца борштанги определится по формуле

$$\delta = \sqrt{\delta_B^2 + (\delta'_r + \delta''_r)^2}. \quad (17)$$

Осевая сила приводит к деформации сжатия и перемещению резца на величину:

$$\delta_{oc} = \frac{P_x l}{EF}, \quad (18)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения стержня борштанги.

Величина  $\delta_{oc}$  оказывает влияние на точность линейных размеров при обработке несквозных отверстий на станках с ЧПУ.

**5. Экспериментально исследовать статические погрешности.**

Для крепления оправок (борштанг) в переходных втулках широко применяется цилиндрическое соединение со шпонкой. Ось цилиндрической оправки при установке и зажиме ее винтами в отверстии переходной втулки смещается, образуя неравномерные зазоры.

В результате этого податливость соединения зависит от расположения рассматриваемого диаметрального сечения оправки относительно крепежных винтов. Выбор сечения с минимальной податливостью при конструировании расточных оправок и расположение в этом сечении вершины резца обеспечивает повышение точности обработки.

**5.1.** В шпинделе станка установить переходные втулки и цилиндрические контрольные оправки с присоединительными поверхностями в виде конуса Морзе и цилиндрической поверхностью с различной точностью изготовления (оправка № 1 диаметром 23,9 мм и степенью точности хвостовика АТ6).

**5.2.** Установить стойку с динамометром так, чтобы точка приложения силы находилась на расстоянии 100 мм от торца оправки (рис. 107).

**5.3.** Установить стойки с измерительными головками так, чтобы их наконечники находились на торце переходной втулки (измерительная головка № 1) и на контрольной оправке в сечении приложения силы (измерительная головка № 2). Наконечники измерительных головок плоские.

**5.4.** Нагрузить оправку через динамометр силой  $P$ . Снять показания индикаторов (измерительных головок). Показания индикатора № 1 являются результатом объемной деформации переходной втулки и перекоса ее оси в месте стыка конусов шпинделя и оправки. Индикатор № 2 показывает суммарную деформацию, включающую в себя объ-

емные и контактные деформации контрольной цилиндрической оправки и переходной втулки. Перекос оси контрольной оправки на 1 мм ее длины определить по формуле

$$\theta = \left[ \delta_0 - \left( \delta_b + \frac{Pl}{3EJ} \right) \right] / 100. \quad (19)$$

**5.5.** Последовательно в переходную втулку установить контрольные оправки с конусами Морзе № 3 и лапкой. Диаметр оправок – 23,9 мм, общая длина – 225 мм. Степень точности оправок № 2 – АТ7 и № 3 – АТ8. Произвести нагружение через динамометр и снять показания измерительных головок.

**5.6.** В шпиндель станка установить переходную втулку с конусом 50 (рис. 117).

**5.7.** Последовательно во втулку установить контрольные оправки диаметром 23,9 мм с цилиндрическим хвостовиком (диаметр хвостовика – 36 мм и длина – 116 мм) и общей длиной 225 мм. Биение диаметра 23,9 мм относительно хвостовика должно быть не более 0,01 мм. Размеры диаметров хвостовиков: для оправки № 4 –  $36_{-0,02}^{-0,01}$  мм, для оправки № 5 –  $36_{-0,04}^{-0,03}$  мм и для оправки № 6 –  $36_{-0,07}^{-0,06}$  мм. Установить измерительные головки № 1 и 2, динамометр и нагрузить оправки силой  $P$ . Снять показания измерительных головок для каждой из оправок и занести в табл. 47.

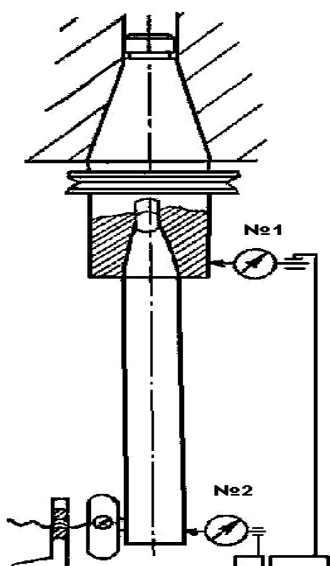


Рис. 117. Схема измерения перемещений втулки и оправок № 1–3

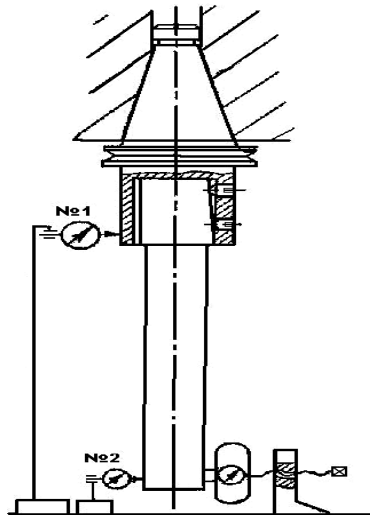


Рис. 118. Схема измерения перемещений втулки и оправок № 4–6

Таблица 47

### Результаты измерений и расчетов

Номер п/п	Измеряемый или рассчитываемый параметр	Полученное значение параметра, мм
1	Показания измерительных головок № 1 и 2 для контрольной оправки № 1 ( $\delta_{0_1}$ и $\delta_{b_1}$ )	
2	Перекося $\theta_{0_1}$ оси контрольной оправки № 1 на 1 мм ее длины по формуле (19)	
3	Коэффициент податливости, мкм/Н, переходной втулки с контрольной оправкой № 1 $\Pi_1 = \delta_{0_1} / P$	
4	Коэффициент податливости, мкм/Н, контрольной оправки № 1 $\Pi_{0_1} = (\delta_{0_1} - \delta_{b_1}) / P$	
5–20	Измерения и расчеты, аналогичные пп. 1–4, проводятся для оправок № 2–6	

**5.8.** По данным табл. 43 определить влияние конструкции и точности изготовления присоединительных поверхностей режущего и вспомогательного инструмента на их податливость. Сравнить экспериментальные данные с теоретическими, полученными по следующей формуле:

$$\Pi_T = \left[ \sum_1^{n_1} \frac{Pl_i^3}{3EJ_i} + \sum_1^{n_2} \theta_i J_i \right] / P,$$

где  $n_1$  – число элементов в блоке (переходная втулка – оправка), подвергающихся объемной деформации;  $n_2$  – число стыков в блоке;  $l_i$  – длина элементов блока с объемной деформацией;  $P$  – нагружающая сила.

**5.9.** На оправках № 4–6 нанести риски 1–8 через 45° (длиной 100 мм), причем риска 1 располагается на образующей, расположенной против шпонки.

**5.10.** В шпиндель станка установить переходную втулку, в которой закрепить оправку № 4.

**5.11.** Измерительные головки № 1 и 2 установить против риски 1, а динамометр – против риски 5 и нагрузить оправку силой  $P$ .

**5.12.** Снять показания с измерительных головок.

**5.13.** Последовательно поворачивать державку и нагружать оправку против следующих рисок. Записать показания измерительных головок.

**5.14.** Действия, аналогичные выполненным в пп. 5.10–5.13, проделать с контрольными оправками № 5 и 6.

**5.15.** Запись и обработку полученных данных провести в соответствии с табл. 48.

По данным табл. 48 построить диаграмму (рис. 119) зависимости податливости оправок в различных направлениях через 45° от первой риски для каждой из оправок. Все диаграммы строят в одной координатной сетке.

Таблица 48

#### Результаты измерений и расчетов

Номер п/п	Измеряемый или рассчитываемый параметр	Значение параметра, мм
1	Фактический диаметр отверстия в переходной втулке $d_{\phi}$	
2	Фактический посадочный диаметр оправки № 4, $d_4$	
3	Показания измерительных головок № 1 и 2 для риски 1, $\delta_{41}$ и $\delta_{42}$	
4	Деформация оправки № 4 в направлении риски 1 $Y_{41} = \delta_{42} - \delta_{41}$	
5	Коэффициент податливости, мкм/Н, оправки № 4 в направлении риски 1 $\Pi_{41} = Y_{41} / P$	
6	Зазор в цилиндрическом соединении для оправки № 4, $\Delta_4 = d_{\phi} - d_4$	
7–35	Параметры и расчеты, аналогичные пп. 2–6, проводятся для рисок № 2–8	
36–105	Параметры и расчеты, аналогичные пп. 2–35, проводятся для оправок № 5–6	

Определить сечение с минимальной податливостью, в котором следует располагать вершину режущего элемента.



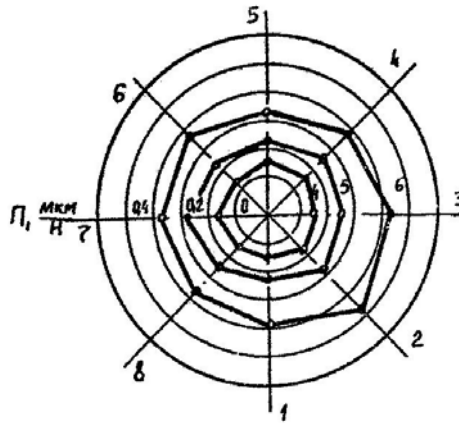


Рис. 119. Диаграмма податливости цилиндрического соединения

## Структура отчета

1. Цель работы.
2. Эскиз инструментальной наладки.
3. Расчеты режима резания инструментальной наладкой.
4. Расчеты статической погрешности инструментальной наладки.
5. Эскизы переходной втулки и контрольных оправок № 1–3 и 4–6.
6. Схема измерений и описание экспериментов.
7. Характеристики приборов и оборудования, используемых в лабораторной работе.
8. Таблицы результатов экспериментов.
9. Выводы и рекомендации.

## Контрольные вопросы

1. Каким видам деформации подвергается осевой инструмент?
2. От каких факторов зависит величина контактных деформаций?
3. Произвести схематизацию расчета деформаций вспомогательного и режущего инструментов.
4. Написать зависимости для анализа деформаций осевого инструмента.
5. Указать порядок построения диаграммы жесткости осевого инструмента.
6. Для каких инструментов можно применить исследованные конструкции присоединительных поверхностей режущего и вспомогательного инструментов?
7. Как определить сечение, в котором следует располагать вершину режущего элемента?

## Указания по технике безопасности

1. Перед началом работы изучить методические указания, особенно по выполнению практической части.
2. Практическая часть лабораторной работы на станке выполняется организовано под руководством учебного мастера.
3. Включать, переключать и выключать станок в процессе лабораторной работы без разрешения учебного мастера не разрешается.
4. При проведении экспериментов на станке следует соблюдать все меры предосторожности.
5. По окончании лабораторной работы студенты должны привести в порядок станок.

## Литература

1. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, В. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
2. Левина, З. М. Контактная жесткость машин / З. М. Левина, Д. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.
3. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ : справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – М. : Машиностроение, 1983. – 385 с.

# Приложения к лабораторной работе № 11

## Приложение 1

Таблица П.1.1

### Податливость $\theta_2/M$ в цилиндрических соединениях с боковым зажимом винтами, 1/кН · м

Диаметр соединения, мм	Величина зазора в соединении, мм	$\theta_2$ в направлении силы затяжки винтов	$\theta_2$ перпендикулярно силе затяжки винтов
36	0,014	0,0032	0,0060
	0,037	0,0041	0,0079
48	0,014	0,0010	0,0014
	0,026	0,0012	0,0032
	0,048	0,0016	0,0062

Таблица П.1.2

### Податливость $\theta_3/M$ в конусах Морзе, 1/кН · м

Обозначение конуса	Исполнение	Точность изготовления		
		AT7	AT8	AT9
Морзе № 1	С лапкой	0,2012	0,2097	0,2110
Морзе № 2	С резьбой	0,0433	0,0436	0,0462
	С лапкой	0,0447	0,0476	0,0499
Морзе № 3	С резьбой	0,0118	0,0124	0,0136
	С лапкой	0,0124	0,0141	0,0157
Морзе № 4	С резьбой	0,0034	0,0038	0,0046
	С лапкой	0,0046	0,0052	0,0055
Морзе № 5	С резьбой	–	0,00080	–
Морзе № 6	С резьбой	–	0,00027	–

Таблица П.1.3

### Податливость $\theta_4/M$ в цанговом зажиме, 1/кН · м

Диапазон диаметров закрепленных хвостовиков, мм	Диаметр хвостовика, мм	$\theta_4$ для стыка цанга-корпус патрона	$\theta_4$ для стыка хвостовика инструмента цанга-корпус патрона
20...40	40	0,0010	0,0026
	20		0,0029
3...25	20	0,0019	0,0038
	16		0,0040
	12		0,0047
	10		0,0056
	6		0,0103

## Содержание

Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ .....	3
Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА .....	20
Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК .....	47
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ФРЕЗ .....	78
Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЬБООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА .....	100
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЗУБООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА .....	130
Лабораторная работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ .....	166
Лабораторная работа № 8. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА .....	180
Лабораторная работа № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ РЕЗЦОВ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ .....	205
Лабораторная работа № 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА НА СТАНКЕ ТИПА «ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР» .....	221
Лабораторная работа № 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....	237

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Михайлов Михаил Иванович**

# **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ: ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**Учебное пособие**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор *Т. Н. Мисюрова*  
Компьютерная верстка *Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 28.08.15.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 14,65. Уч.-изд. л. 15,25.

Изд. № 57.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

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

Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя  
печатных изданий за №1/273 от 04.04.2014 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48