Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Оборудование и технологии обработки материалов»

ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по курсу «Режущий инструмент» для студентов направления

15.03.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2026

ВВЕДЕНИЕ

В крупносерийном и массовом производстве для обработки фасонных деталей в качестве основного режущего инструмента применяют фасонные резцы.

Широкое распространение фасонных резцов объясняется рядом достоинств, присущих как методу обработки, так и инструменту.

1. Фасонными резцами можно обрабатывать сложнопрофильные детали на станках с простой кинематической схемой формообразования поверхности. Это позволяет уменьшить затраты на оборудование и использовать менее квалифицированный труд.

2. Небольшой по сравнению с точением на копировальных станках обычными резцами путь резания позволяет значительно повысить стойкость инструмента и производительность обработки.

3. Большое число переточек способствует снижению расхода инструмента на программу выпуска и обеспечивает идентичность профиля всех деталей.

4. Простота заточки фасонных резцов (затачиваются они только по передней поверхности) позволяет уменьшить затраты на их эксплуатацию.

Несмотря на то, что фасонные резцы сложнее в изготовлении, стоимость их выше, чем у резцов общего назначения, указанные достоинства позволяют уменьшить затраты на изготовление деталей.

Фасонные резцы, расчёт которых рассмотрен ниже, отличаются от резцов с фасонной режущей кромкой строением задней поверхности. У фасонных резцов задняя поверхность образуется режущей кромкой, определённым образом соответствующей профилю обрабатываемой детали, при её движении относительно базы крепления резца к державке по траектории, обеспечивающей постоянство формы режущей кромки при переточках резца. У резцов с фасонной режущей кромкой задняя поверхность строится без соблюдения этого условия, в связи с чем перетачивают их по профилю на оптико-шлифовальных станках или по шаблонам, что дорого и трудоёмко [1, 2].

Фасонные резцы — специальные инструменты, применяемые для обработки только тех деталей, для которых рассчитаны. Изменение размеров детали без изменения формы профиля требует изготовления другого резца.

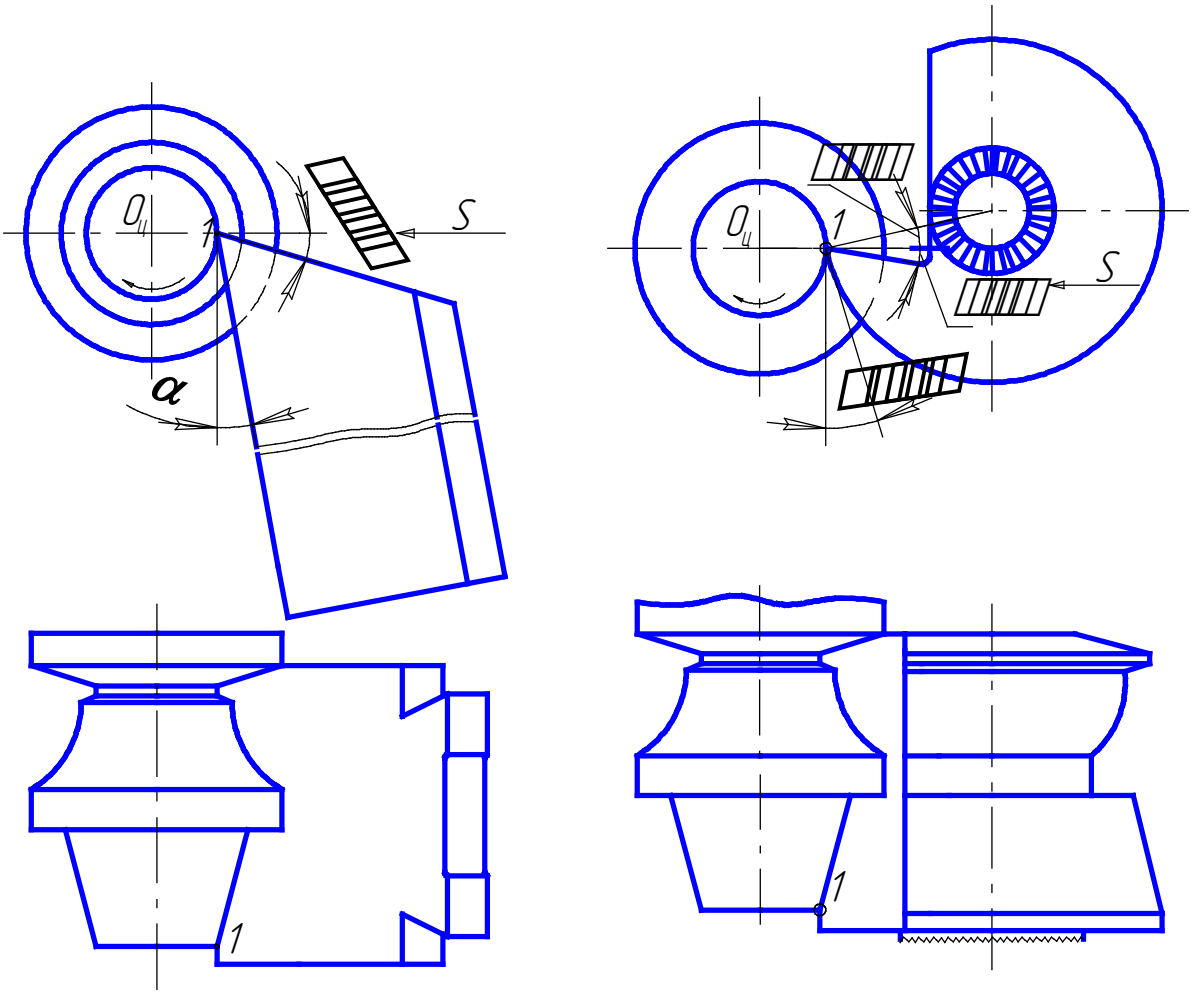
По характеру движений, образующих кинематическую схему формообразования поверхности, фасонные резцы разделяются на две большие группы — радиальные (рис. 1) и тангенциальные (рис. 2).

В каждой группе фасонные резцы классифицируются по ряду признаков.

1. По траектории движения подачи различают резцы с прямолинейной траекторией подачи (см. рис. 1) и круговой (рис. 3).

2. По форме различают резцы призматические (рис. 1а) и круглые (рис. 1б).

3. По расположению поверхности, соединяющей резец с державкой (эту поверхность называют базой крепления) относительно оси детали, различают резцы с наклонной под углом ε (рис. 4) базой и резцы с базой, параллельной оси детали (см. рис. 1).



а) б)

Рис. 1. Радиальные резцы: а) призматический, б) круглый

4. По расположению передней поверхности относительно оси детали различают резцы с базовой точкой и базовой линией. В первом случае передняя поверхность резца параллельна оси детали (рис. 1), а во втором — она пересекает ось детали (рис. 5).

5. По форме задней поверхности различают резцы с цилиндрической задней поверхностью (резцы призматической формы рис. 1а), с задней винтовой поверхностью (рис. 6) или поверхностью вращения (круглые резцы рис. 1б).

Фасонные резцы изготовляют из быстрорежущих сталей марок Р6М5 (скорость резания V до 11 м/мин), Р18М (V=15…25 м/мин), Р18, Р9К10 (V=22…45 м/мин), Р10К5Ф5 (V=45…60 м/мин) и твёрдых сплавов (при отсутствии вибраций и ударных нагрузок) марок ВК10М, ТТ7К12, Т5К12В [1, 2].

Фасонные резцы устанавливают в специальные державки [1], позволяющие точно настроить положение резца относительно детали.

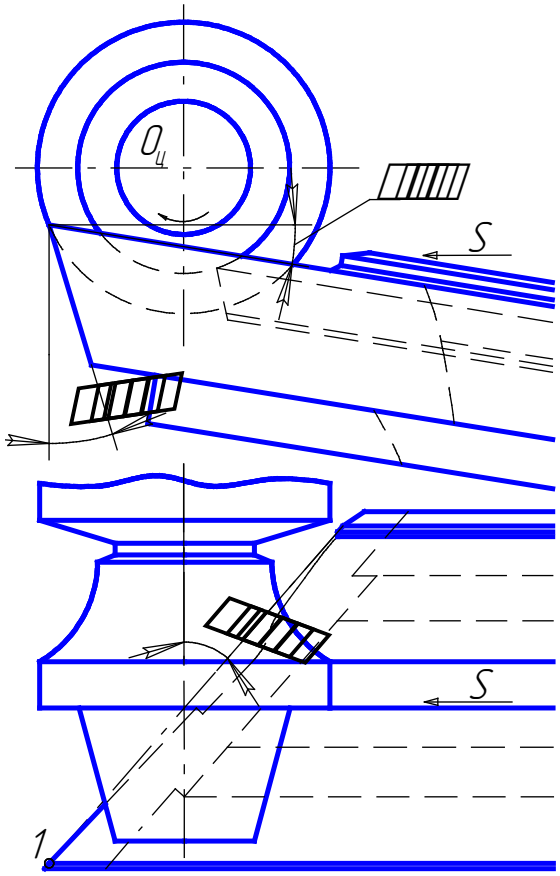


Рис. 2. Тангенциальный резец

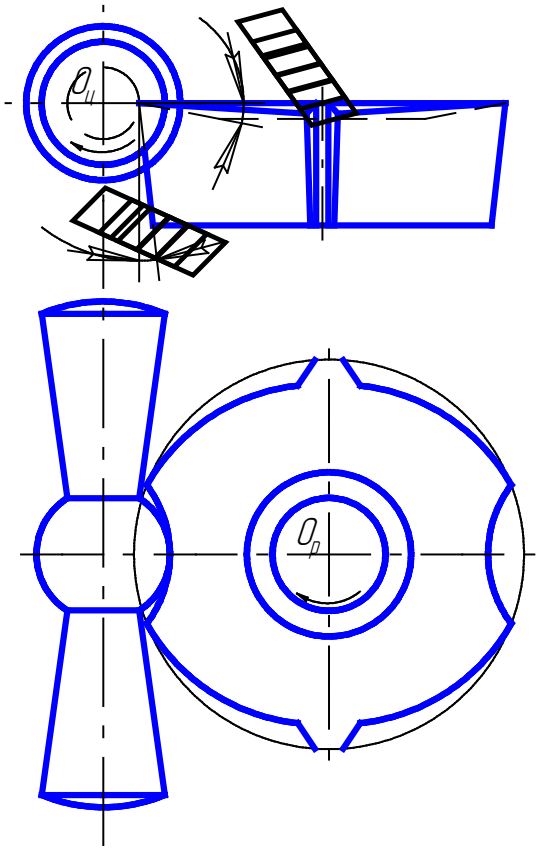


Рис. 3. Обработка с круговой подачей

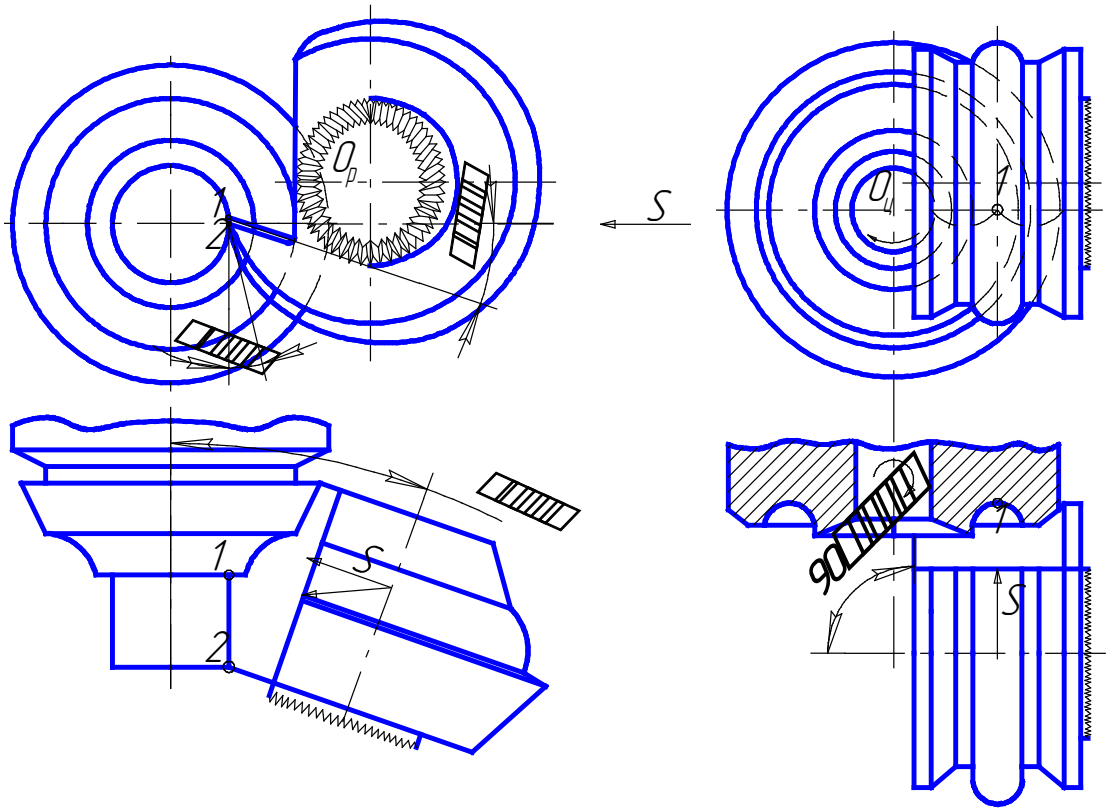


Рис. 4. Резцы с наклонной базой

1. РАДИАЛЬНЫЕ ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ

1.1. Формообразование поверхности детали

При обработке детали радиальные фасонные резцы (см. рис. 1) вне зависимости от их конструктивного исполнения располагаются так, что траектория одной точки или её некоторый участок располагаются в плоскости, параллельной вектору подачи и проходящей через ось детали.

По мере врезания режущей кромки её точки постепенно вступают в работу, вследствие чего поверхность резания изменяет свою форму. В момент выключения механизма подач режущая кромка располагается на поверхности детали, т.е. в момент формообразования поверхности детали поверхность резания совпадает с поверхностью детали. Поверхность детали при таком методе формообразования есть поверхность вращения, описанная вращением режущей кромки вокруг оси детали. Переменные во времени параметры процесса резания — толщина и ширина среза и силы резания — делают процесс резания сложным, могут возникать вибрации, приводящие к сколу режущей кромки и повышению шероховатости поверхности детали. В связи с этим радиальными фасонными резцами рекомендуется обрабатывать детали жёсткие, с отношением $(l/d) \leq 3$, где l — длина, d — минимальный диаметр профиля детали, определяющие жёсткость детали.

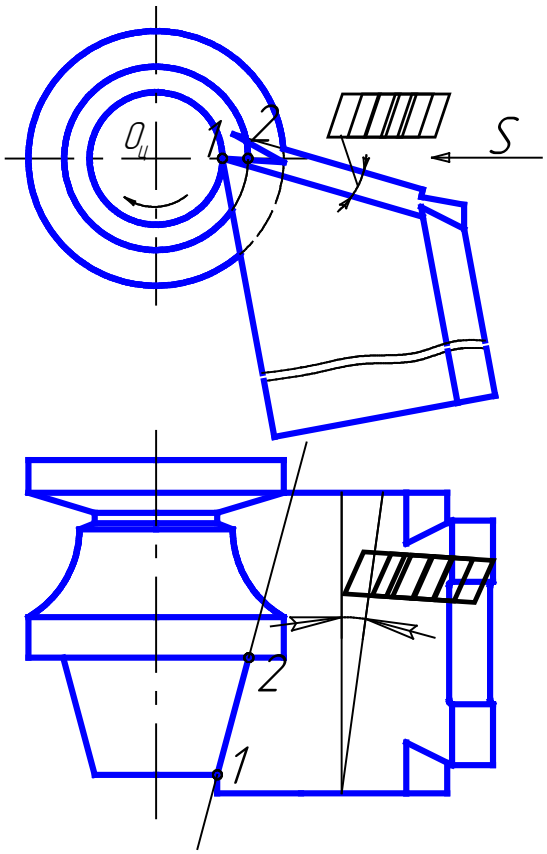


Рис. 5. Резец с двойным углом наклона передней поверхности

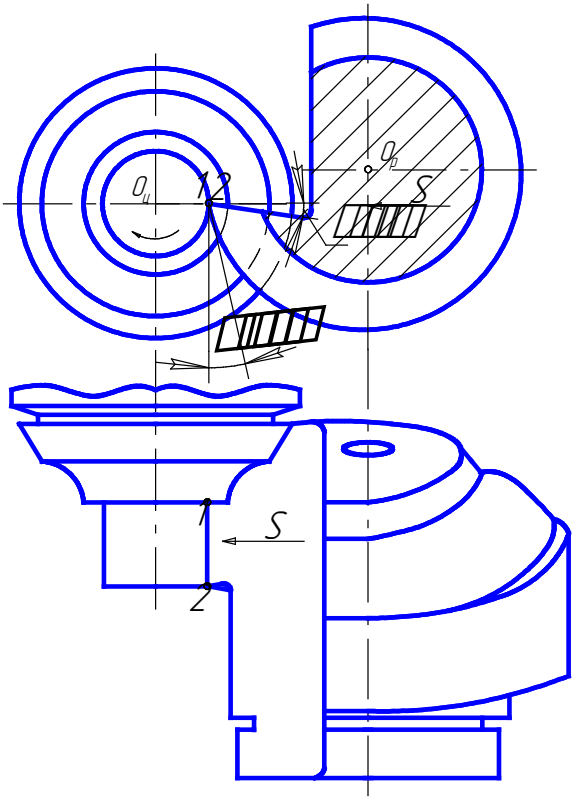


Рис. 6. Резец с винтовой задней поверхностью

1.2. Геометрические параметры режущей части радиальных фасонных резцов

Геометрические параметры режущей части (рис. 7) — углы α и γ — задают в базовой точке (или на базовой линии) режущей кромки в плоскости n, перпендикулярной базе крепления резца. За базовую принимают точку А, наиболее удалённую от базы крепления.

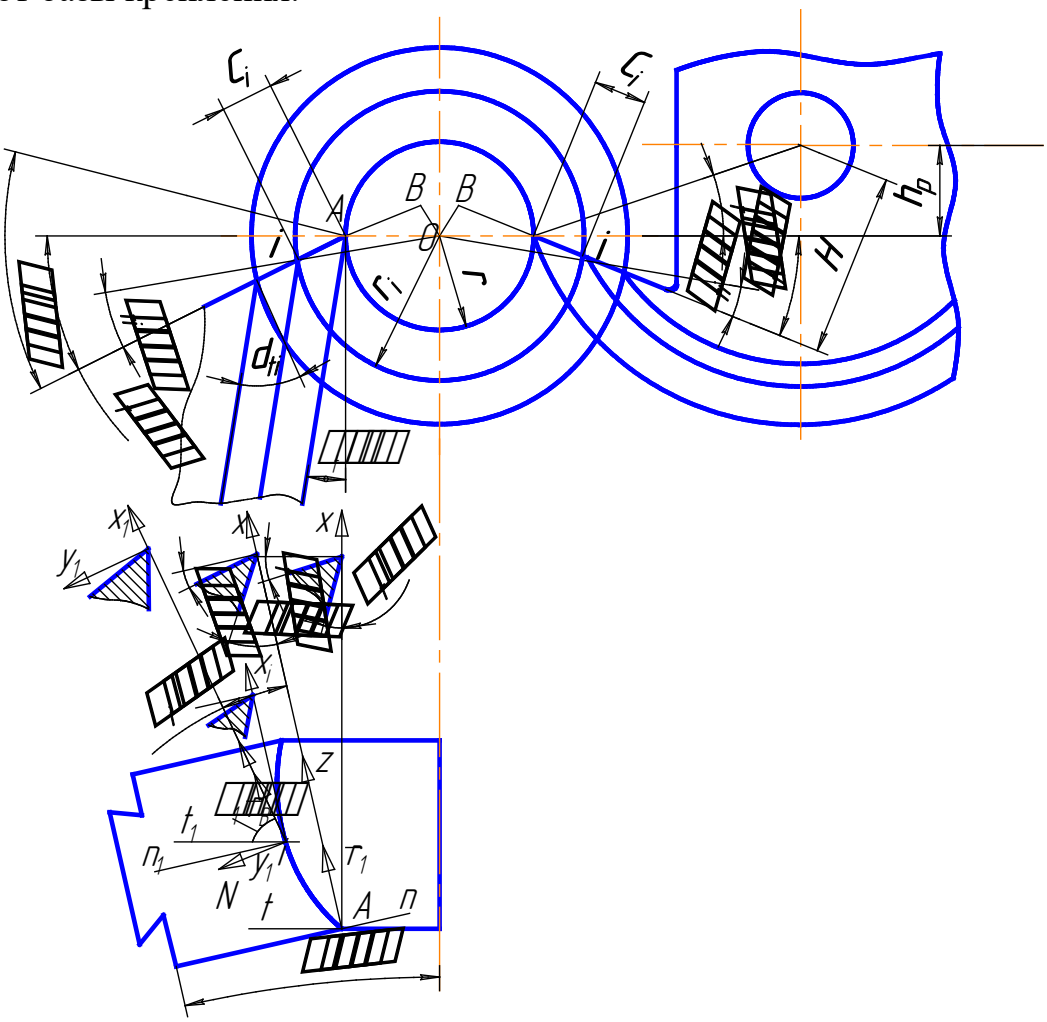


Рис. 7. Геометрические параметры режущей части

При изготовлении призматических резцов переднюю поверхность располагают под углом

$$\psi = \alpha + \gamma \tag{1.1}$$

относительно нормали к образующим задней поверхности. При установке в державке резец располагают так, чтобы угол между касательной к поверхности резания и образующей задней поверхности в точке А был равен углу α, тогда

$$\gamma = \psi - \alpha.$$

Передний угол радиального круглого резца выполняют при его изготовлении, располагая переднюю поверхность на расстоянии Н от оси резца, а задний угол

получают за счёт установки оси резца выше оси детали на величину h_p. Из рис. 7 следует:

$$H=R\cdot\sin(\alpha+\gamma); \quad h_p=R\cdot\sin(\alpha), \tag{1.2}$$

где R=D/2 — радиус резца в базовой точке (D — максимальный диаметр резца).

Исходя из особенностей геометрии радиальных резцов, для призматических резцов в базовой точке назначают α = 12°…15°, для круглых — α = 10°…12°.

Значение передних углов радиальных резцов назначают по табл. 1 в зависимости от обрабатываемого материала и материала резца.

Углы α и γ в точках, не совпадающей с базовой, имеют другие значения. В плоскости, перпендикулярной оси детали [3]:

$$\mathrm{tg}\gamma_t = \mathrm{tg}\gamma \cdot \cos\varepsilon, \tag{1.3}$$

$$\mathrm{tg}\alpha_t = \mathrm{tg}\alpha / \cos\varepsilon. \tag{1.4}$$

Таблица 1

Значение передних углов

Материал детали	$\delta_в$, МПа	НВ	γ, град	
			Быстрорежущие стали	Твёрдые сплавы
Медные и алюминиевые сплавы			25…30	
Сталь	До 500	До 150	25	10…15
	500…800	150…235	20…25	10…15
	800…1000	235…290	12…20	5…0
	1000…1200	290…350	8…12	5…0
Чугун		До 150	15	0
		150…200	5…12	0
		200…250	5…0	0
Латунь, бронза			5…0	0

Значения передних и задних углов в плоскостях, перпендикулярных базе крепления, зависят от положения точки на режущей кромке и плоскости измерения.

Из рис. 7 видно, что в i-й точке режущей кромки

$$\sin\gamma_i = r\sin\gamma_i / R_i, \tag{1.5}$$

где r — минимальный радиус детали; R_i — радиус детали в i-й точке, так как треугольники OAB и OB_i имеют общий катет OB.

Из формулы (1.5) следует, что по мере удаления точки режущей кромки от базовой, передний угол уменьшается. Увеличить передний угол при его недопустимо малой величине можно вышлифовыванием лунки на передней поверхности [1].

Задние углы в точках режущей кромки, удалённых от базовой, возрастают, их значения можно определять по формулам:

для призматического резца

$$\alpha_{ti} = \alpha_t + \gamma_t - \gamma_{ti}; \tag{1.6}$$

для круглого резца

$$\alpha_{ti} = \alpha_t + \gamma_t + \beta - \gamma_{ti}, \tag{1.7}$$

где

$$\beta = \mathrm{arctg}\left[\frac{R - c_1 \cos(\alpha_t + \gamma_t)}{c_1 \sin(\alpha_t + \gamma_t)}\right];$$

$$c_1 = r \sin\gamma_{ti} / \sin(\gamma_t - \gamma_i).$$

На величину износа радиальных резцов влияет задний угол в нормальном сечении режущего клина α_N [3]

$$\mathrm{tg}\alpha_{Ni} = \mathrm{tg}\alpha_i \sin(\varepsilon + \varphi_i), \tag{1.8}$$

где φ_i — угол наклона касательной в *i*-й точке профиля детали к перпендикуляру к её оси; α_i —задний угол в i-й точке в плоскости, перпендикулярной базе крепления,

$$\mathrm{tg}\alpha_i = \mathrm{tg}\alpha_{ti} \cos\varepsilon. \tag{1.9}$$

Из анализа формулы (1.8) следует, что при ε=0 величина α_{Ni} уменьшается с уменьшением угла φ_i и при φ_i <15° α_{Ni} < 2,5° , а при φ_i=0 α_{Ni} = 0, что недопустимо. При наклонной базе крепления ($\acute{\varepsilon} \neq 0$) даже на участках профиля с φ_i=0 α_{Ni}=0,5tg$\alpha_i$sin2ε. По этой причине для обработки деталей, на профиле которых есть участки, перпендикулярные оси, следует применять резцы с наклонной базой или с винтовой задней поверхностью. Если такие резцы применять нельзя, то на таких участках режущей кромки делают поднутрение с углом φ_1=1°…1,5° (при глубине профиля менее 5 мм) или выточки (рис. 8).

1.3. Точность деталей, обработанных радиальными фасонными резцами

Фасонную поверхность детали представляют состоящей из элементарных поверхностей вращения. Общие точки двух соседних элементарных участков называют узловыми.

Размеры фасонной поверхности в узловых точках образующей каждой элементарной поверхности и между узловыми точками задаются с определенными отклонениями. Поэтому точность детали с фасонной поверхностью — параметр комплексный, включающий в себя как точность воспроизведения размеров в узловых точках, так и точность воспроизведения формы образующей элементарного участка между ними.

Для обеспечения заданной точности размеров детали в узловых точках необходимым и достаточным будет условие расположения соответствующих точек режущей кромки резца в момент формообразования (рис. 9) в середине поля допуска соответствующего размера.

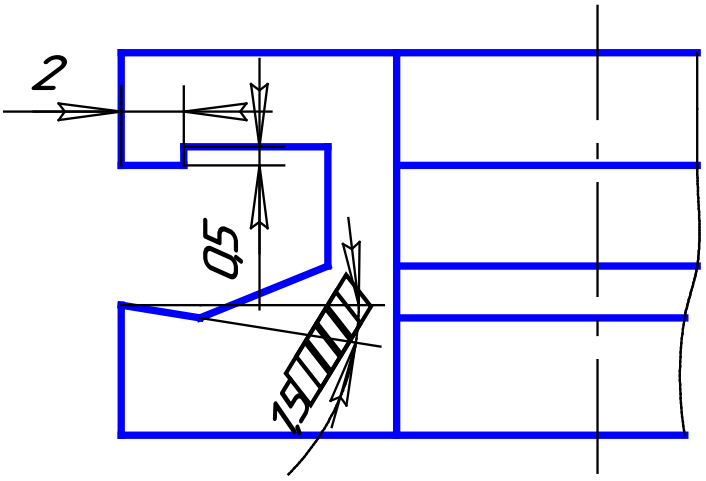


Рис. 8. Оформление режущих кромок
при обработке торцов

Поэтому при расчете размеров профиля резца необходимо учитывать не номинальные, а средние размеры детали в узловых точках:

$$d_c = d_h + es - 0{,}5T = d_h + 0{,}5(es + ei). \qquad (1.10)$$

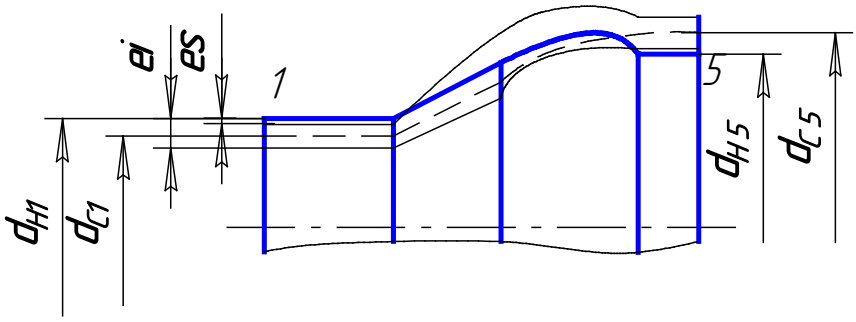


Рис. 9. Определение положения режущих кромок

Это условие позволяет значительно упростить настройку станка, так как проверив правильность получения одного удобного для измерения размера, можно гарантировать выполнение остальных размеров с заданной точностью.

Примечание. На некоторых предприятиях рекомендуется режущую кромку располагать на расстоянии 2/3 поля допуска соответствующего диаметра, объясняя это запасом на износ резца. В этом случае

$$d_c = d_h + es - 0{,}33T.$$

Точность воспроизведения формы образующей элементарной поверхности между узловыми точками зависит от положения передней поверхности относительно оси детали, числа точек образующей, используемых при расчете, формы исполнения резца.

Передняя поверхность резца в целях упрощения выполняется в виде плоскости П и располагается обычно параллельно оси детали (рис. 10). Линия. 1-2-3-4-5 пересечения плоскости с поверхностью детали есть режущая кромка. На участке 1-2 режущая кромка параллельна оси детали, поэтому поверхность детали на этом участке будет цилиндрической. Отсюда следует, что при расчете профиля резца

для цилиндрических поверхностей можно учитывать размер детали в любом сечении такого участка. На участке 2-3, соответствующем коническому участку профиля детали, режущую кромку можно построить несколькими способами. Первый способ состоит в том, что при расчете профиля резца учитывают только размеры конуса по торцам (в точках 2 и 3), выполняя режущую кромку в виде прямой, соединяющей эти точки. В этом случае участок 2-3 профиля детали примет форму гиперболоида вращения, так как прямая 2-3 и ось детали — прямые скрещивающиеся. Величина отклонения реальной поверхности от номинального конуса будет тем больше, чем больше угол конуса [1]. Повысить точность воспроизведения конической поверхности можно, используя второй способ построения режущей кромки. Суть его состоит в том, что при расчете, кроме размеров конического участка по торцам, учитывают размеры в промежуточных сечениях участка. В этом случае режущая кромка 2-2'-3 соответствует точно линии пересечения конуса с плоскостью и является дугой гиперболы. Чем больше точек (обычно расстояние между промежуточными точками вдоль оси 2…3 мм), тем больше реальная поверхность соответствует номинальной.

Для получения точной формы участка профиля детали, образованных дугой окружности (участок 3-4) или произвольной кривой, расчет профиля резца следует вести по точкам линии, приняв между ними расстояние 1,5…3 мм. Чем больше точек будет учтено при расчете, тем точнее будет профиль детали.

Из сказанного следует, что при расположении передней поверхности резца параллельно оси детали цилиндрические участки поверхности воспроизводятся без погрешностей, а на конических участках и участках, образованных кривой линией, точность профиля зависит от числа промежуточных точек, учитываемых при расчете.

Теоретически точную коническую поверхность детали можно получить, если переднюю поверхность резца расположить под углом λ (плоскость $П_1$ на рис. 10). Величину угла λ можно подобрать так, чтобы линия пересечения конической поверхности с плоскостью $П_1$ совпадала с образующей 2-3' конуса [1].

При наклонном расположении передней поверхности $П_1$ часть ее (левее точки 2 на рис. 10) располагается ниже плоскости П, а другая часть выше. Такое расположение передней поверхности приводит к тому, что точность обработки криволинейного участка поверхности детали практически остается неизменной, а точность цилиндрического участка снижается, так как обрабатывающая его режущая кромка 1'-2 должна быть дугой эллипса, выполнить которую достаточно сложно. Кроме того, при наклонном расположении передней поверхности, задние углы на участках режущего клина резца, расположенного выше осевой линии детали (на участке 3'-4'-5'), значительно уменьшаются, что крайне нежелательно.

Кроме указанных факторов на точность обработки влияет и технология изготовления резца. В целях упрощения технологии целесообразно применять резцы с передней поверхностью, параллельной оси детали. В этом случае при проектировании резца для конической поверхности с невысокими требованиями к точности режущую кромку принимают прямолинейной. Величину погрешности можно определить по зависимостям, приведенным в работе [1].

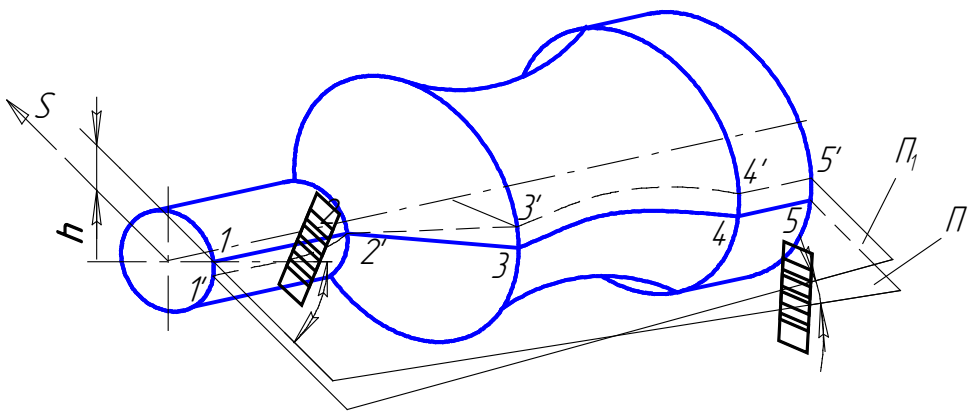


Рис. 10. Влияние положения передней поверхности на точность формы

Если возможные погрешности больше допустимых, то расчет профиля резца для конического участка следует вести по точкам.

1.4. Аналитический расчет радиальных фасонных резцов

Режущая кромка радиального фасонного резца, совершая некоторое движение относительно базы крепления, образует его заднюю поверхность. Поскольку режущая кромка есть линия пересечения передней и задней поверхностей резца, то цель аналитического расчета фасонных резцов всех типов состоит в том, чтобы отыскать такую заднюю поверхность, линия пересечения которой с передней поверхностью (режущая кромка) будет в момент формообразования поверхности совпадать с ней всеми своими точками.

Исходя из этого, задачу отыскания требуемой задней поверхности радиального резца решают в следующей последовательности [3].

1. С деталью, базовой точкой профиля резца и резцом связывают три системы координат: S_1, S_0, S_2.

2. В системе координат S_1 составляют уравнение поверхности детали $r_1 = r_1$ (x_1 y_1 z_1).

3. Переписывают это уравнение в систему координат S_o.

4. Решая совместно уравнение $r_o = r_o$ (x_o y_o z_o) и уравнение передней поверхности, находят уравнение, связывающее параметры точек поверхности детали и режущей кромки. Это уравнение называют уровнем связи параметров.

5. Переписывают уравнение $r_o = r_o$ (x_o y_o z_o) в систему координат, связанную с резцом. Полученное уравнение $r_2 = r_2$ (x_2 y_2 z_2) совместно с уравнением связи параметров описывает заднюю поверхность резца. Решая эти уравнения совместно с уравнением плоскости, нормальной образующей задней поверхности, определяют координаты точек профиля резца.

Первые четыре этапа одинаковы для всех типов радиальных резцов, а формулы, получаемые на 5 этапе, различаются в зависимости от типа резца. Ниже приводится решение этой задачи применительно к резцам с наклонной базой и пе-

редней поверхностью, параллельной оси детали. Решение приведено с использованием известных формул преобразования систем координат [5].

1.4.1. Уравнение поверхности детали

В системе координат S_1 (x_1 y_1 z_1) поверхность детали образуется вращением линии L ее профиля вокруг оси z_1 (рис. 11). Точка M поверхности детали лежит на расстоянии 1_1 от начала координат вдоль оси z_1 и на расстоянии R_1 от этой оси. В произвольный момент времени угол между радиусом R_1 и плоскостью x_1 S_1 z_1 принимает значение t. Данный угол служит параметром вращения. Тогда точка M в системе S_1 будет иметь координаты

$$\begin{cases} x_1 = R_1 \cos t, \\ y_1 = R_1 \sin t, \\ z_1 = l_1. \end{cases} \tag{1.11}$$

При изменении параметров t, R_1, $1_{1.}$ уравнение (1.11) описывает всю поверхность детали.

Для составления уравнения связи параметров систему координат S_o расположим так, чтобы ось z_o, составляющая угол ε с осью z_1, и ось x_o лежала в передней поверхности резца, ось y_o была перпендикулярна этой поверхности, а начало координат S_o отстояло от начала координат S_1 вдоль оси x_1 на расстоянии $r = r_{min}$ — минимальному радиусу профиля детали (рис. 12). При таком расположении системы S_o ось z_o параллельна базе крепления и точка S_o совпадает с базовой точкой режущей кромки резца.

Переписав в систему S_o уравнение (1.11) получим семейство поверхностей детали в этой системе:

$$\begin{cases} x_0 = (x_1 - r)\cos\gamma\cos\varepsilon - \gamma_1 \sin\gamma - z_1 \cos\gamma \sin\varepsilon, \\ y_0 = (x_1 - r)\sin\gamma\cos\varepsilon + y_1 \cos\gamma - z_1 \sin\gamma \sin\varepsilon, \\ z_0 = (x_1 - r)\sin\varepsilon + z_1 \cos\varepsilon. \end{cases} \tag{1.12}$$

Уравнение передней поверхности $y_o = 0$, так как она совпадает с координатной плоскостью x_o S_o z_o.

Приравнивая второе уравнение системы (1.12) к нулю, находим значение параметра t, соответствующее точкам режущей кромки. После преобразования получим:

$$t = F - \varphi, \tag{1.13}$$

$$\sin F = (l_i \sin\varepsilon + r\cos\varepsilon)\sin\gamma / A,$$

где

$$A = R_i \sqrt{\sin^2\gamma\cos^2\varepsilon + \cos^2\gamma},$$

$$\mathrm{tg}\varphi = \mathrm{tg}\gamma\cos\varepsilon.$$

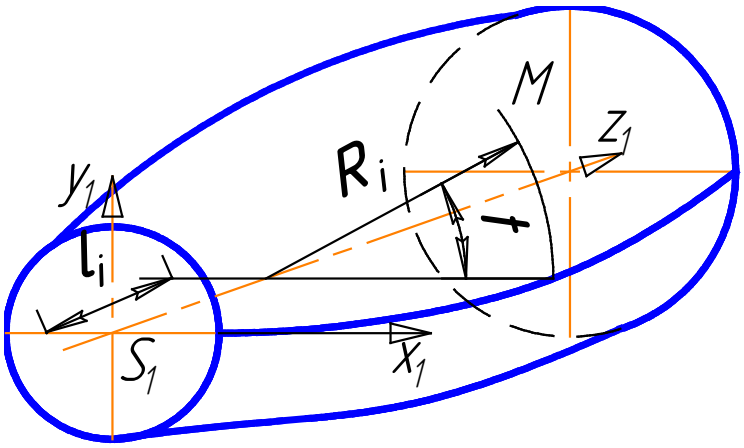


Рис. 11. К выводу уравнений поверхности детали

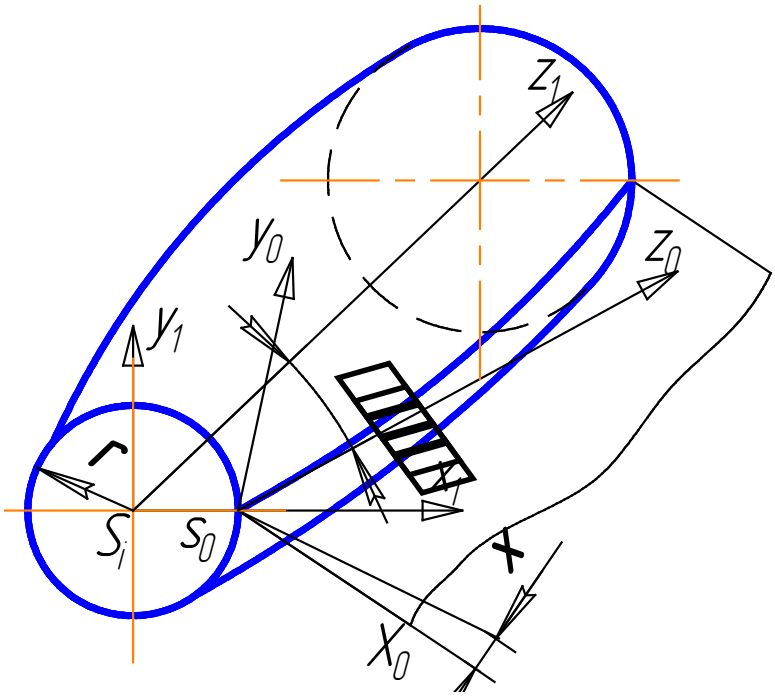


Рис. 12. К выводу уравнений связи параметров

1.4.2. Уравнения задней поверхности и профиля радиальных фасонных резцов

Задняя поверхность призматических фасонных резцов представляет собой цилиндрическую поверхность, образующие которой параллельны базе крепления, а направляющей служит режущая кромка, лежащая в передней поверхности. Для вывода уравнения задней поверхности призматического резца расположим систему координат S_2 так, чтобы оси z_0 и z_2 совпадали, ось y_0 совпадала с образующей задней поверхности в базовой точке, ось x_2 была перпендикулярна осям y_2 и z_2. При таком расположении система S_2 повернута вокруг оси z_2 на угол $\alpha+\gamma$ относительно S_0 (рис. 13).

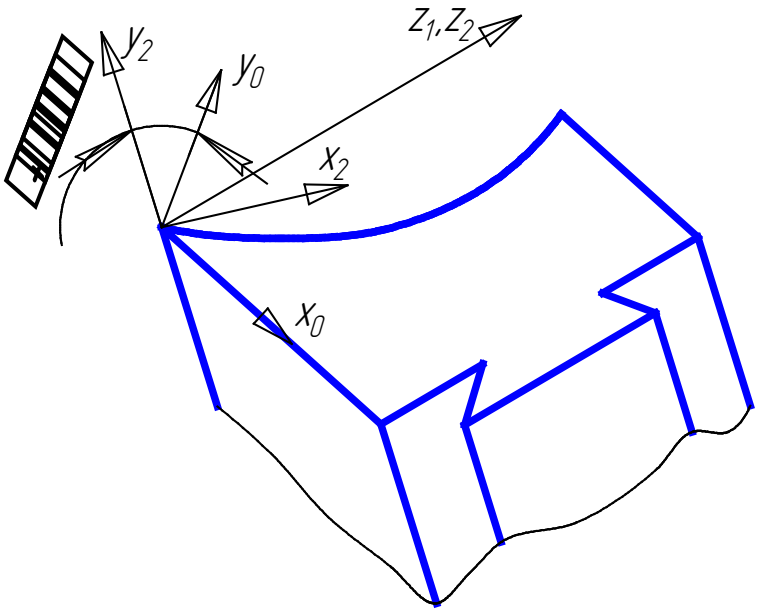


Рис. 13. К выводу уравнений профиля призматического резца

Уравнения задней поверхности призматического резца:

$$\begin{cases} x_2 = x_0 \cos(\alpha + \gamma) + y_0 \sin(\alpha + \gamma), \\ y_2 = -x_2 \sin(\alpha + \gamma) + y_0 \cos(\alpha + \gamma), \\ z_2 = z_0. \end{cases} \quad (1.14)$$

Профилем фасонного резца называют линию сечения задней поверхности плоскостью, перпендикулярной ее образующим. Поскольку образующие параллельны оси y_2, то любое сечение задней поверхности плоскостью y_2 = const определяет профиль резца. Полагая, что y_2=0, для определения координат профиля получаем уравнения:

$$\begin{cases} x_2 = x_0 \cos(\alpha + \gamma) + y_0 \sin(\alpha + \gamma), \\ z_2 = z_0. \end{cases} \quad (1.15)$$

Решая совместно уравнения (1.13), (1.11), (1.12), и (1.15) при переменных значениях R_i и 1_i, определяют размеры профиля призматического резца. Задняя поверхность круглого радиального фасонного резца представляет собой поверхность вращения. Образование ее можно представить следующим образом.

Передняя поверхность резца (плоскость П, в которой расположена режущая кромка) отстоит от оси резца на расстоянии H =R sin (α + γ) (рис. 14). Если на переднюю поверхность опустить перпендикуляр S_2A, жестко связанный с ней в точке А, то при вращении его вокруг оси резца режущая кромка 1, лежащая в плоскости П, опишет заднюю поверхность. Передняя поверхность П круглого фасонного

резца в любом ее положении будет касательной к цилиндру радиусом Н. Это свойство используется при заточке резца.

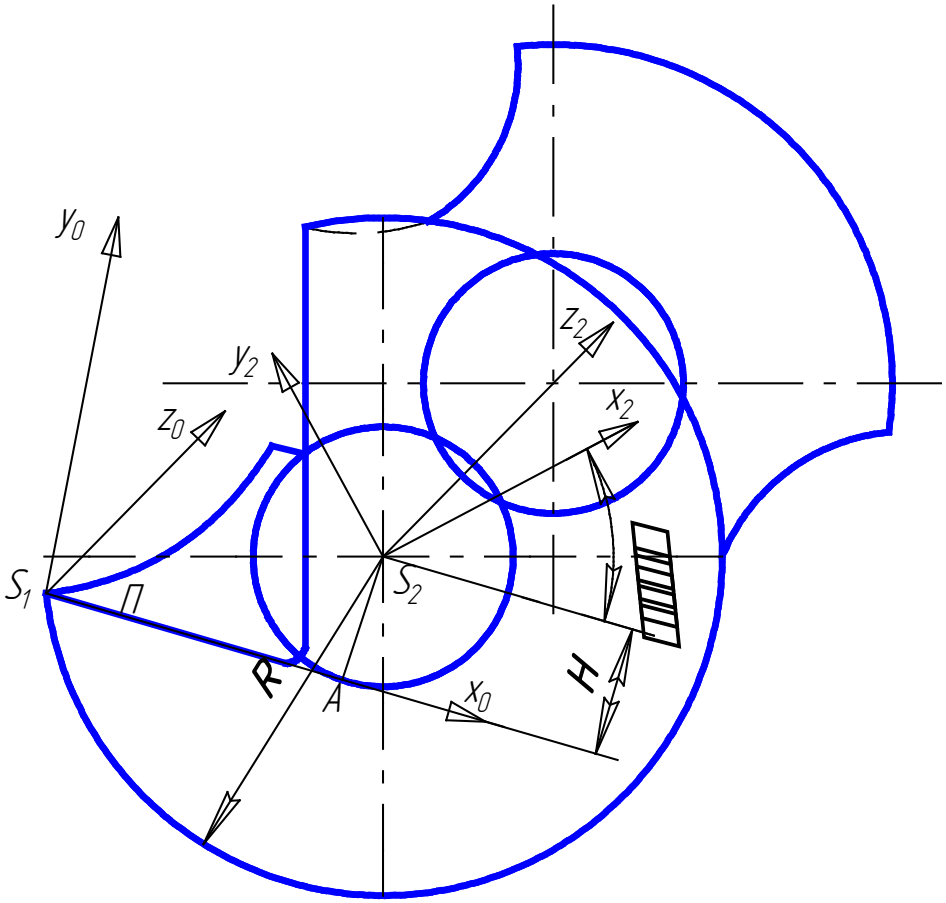


Рис. 14. К выводу уравнений профиля круглого резца

Угол τ, определяющий положение перпендикуляра S_2A в системе координат S_2, является параметром вращения.

Семейство поверхностей детали в системе S_2 получим, преобразовав уравнения (1.11):

$$\begin{cases} x_2 = x_0 \cos\tau + y_0 \sin\tau - R\cos(\alpha+\gamma-\tau), \\ y_2 = -x_0 \sin\tau + y_0 \cos\tau - R\sin(\alpha+\gamma-\tau), \\ z_2 = z_0. \end{cases} \qquad (1.16)$$

Уравнение связи параметров точек профиля круглого резца получаем, рассекая уравнение семейства (1.16) плоскостью, проходящей через ось z_2. Приняв в качестве секущей плоскость $y_2 = 0$, из второго уравнения системы (1.16) получим

$$\mathrm{tg}\tau = \frac{R\sin(\alpha+\gamma) - y_0}{R\cos(\alpha+\gamma) - x_0}, \qquad (1.17)$$

Уравнения (1.16) примут вид

$$\begin{cases} x_2 = x_0 \cos\tau + y_0 \sin\tau - R\cos(\alpha+\gamma-\tau), \\ z_2 = z_0. \end{cases} \qquad (1.18)$$

Решая совместно уравнения (1.13), (1.11), (1.12), и (1.18) при переменных значениях R_i и 1_i, определяют координаты точек профиля круглого резца.

2. ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЕ ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ

Применение тангенциальных фасонных резцов позволяет использовать метод фасонного точения при обработке длинных и нежестких деталей. Достигается это за счет того, что зона касания режущей кромки резца в связи с ее наклонным расположением относительно оси детали значительно меньше длины образующей профиля, вследствие чего силы резания меньше, чем при точении радиальными фасонными резцами.

2.1. Формообразование поверхности детали и точность профиля

При точении тангенциальными фасонными резцами траектории точек режущей кромки совпадают с касательными к соответствующим точкам профиля детали, параллельными вектору подачи S_0 (рис. 15). Режущая кромка AD, расположенная под углом φ к вектору подачи, постепенно вступает в контакт с заготовкой, вследствие чего активная длина кромки постепенно возрастает от 0 до максимальной l_{max}.

Профилирование поверхности детали происходит последовательно точками режущей кромки, пересекающими вертикальную плоскость, например точка А режущей кромки в момент профилирования совпадает с точкой В профиля детали.

Поскольку траектории точек режущей кромки резца касательны к образующей профиля детали, то поверхность, описываемая в пространстве режущей кромкой, называемая инструментальной поверхностью, представляет собой в общем случае цилиндрическую поверхность, касающуюся поверхности детали по линии ее осевого профиля. Линия осевого профиля детали служит направляющей инструментальной поверхности, а ее образующие совпадают с траекториями точек режущей кромки.

При такой схеме формообразования траектория каждой точки режущей кромки на поверхности резания представляет собой плоскую спираль, вследствие чего поверхность резания каждого элементарного участка режущей кромки есть винтообразная поверхность. На поверхности детали траектории точек режущей кромки располагаются в виде винтовых линий с шагом

$$p = S_0 \operatorname{tg}\varphi,$$

где S_0 — подача на оборот детали. Поэтому профиль детали, обработанной тангенциальным резцом, не будет совершенно гладким. При значениях S_0 и φ, обычно используемых при обработке, отклонения реального профиля детали от теоретического малы и удовлетворяют требованиям производства.

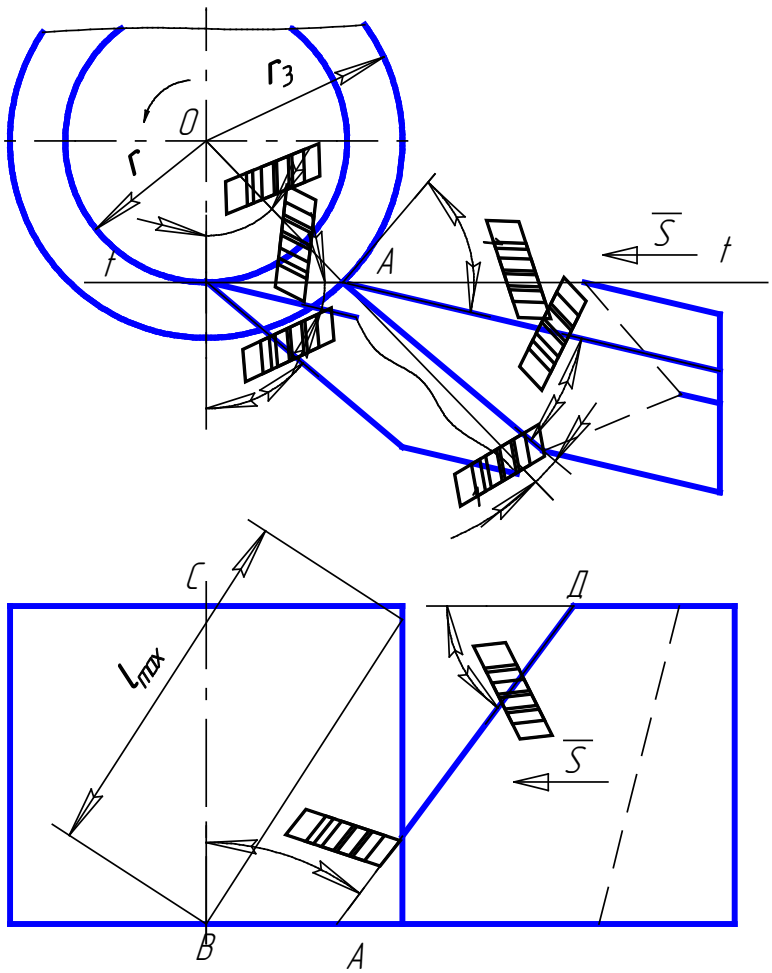


Рис. 15. К выводу уравнений профиля тангенциального резца

2.2. Геометрия режущей части

Режущую кромку резца для уменьшения сил резания располагают под углом φ = 45°…75° к направлению вектора подачи или под углом λ =15°…45° к оси детали. В отличие от радиальных резцов величины углов γ и α резцов тангенциальных назначать в зависимости от обрабатываемого материала нельзя.

Задняя поверхность тангенциального резца представляет собой цилиндрическую поверхность, образующие которой пересекают траектории точек режущей кромки под углом α, а направляющая есть проекция профиля детали на плоскость, перпендикулярную этим образующим.

Поскольку передняя поверхность резца есть плоскость, пересекающая образующие задней поверхности под одним углом, то для изучения геометрии режущей части можно рассмотреть одно сечение режущего клина плоскостью, перпендикулярной оси детали.

Режущая кромка вступает в работу в точке А (см. рис. 15), лежащей на поверхности заготовки радиусом r_3, а заканчивает профилирование в точке В, лежа-

щей на поверхности детали радиусом r. Нормаль ОА к поверхности детали в точке А разделяет пространство под линией t-t на две части. Режущий клин резца должен располагаться справа от этой нормали так, чтобы между образующей задней поверхности и линией t-t в момент профилирования был угол α, а между передней гранью и нормалью ОА был угол γ_1. Исходя из условий обработки, задний угол α = 2,5°…7°, передний угол γ_1 = 0°…5°, угол клина β_{min} = 45°.

При этих значениях $\theta_{max} = 90° - \alpha_{min} - \gamma_{1\,min} - \beta_{min} = 42{,}5°$.

В общем случае из рис. 15 можно найти, что

$$\theta = \arccos(r / r_3). \qquad (2.1)$$

Равенство (2.1) ограничивает величину припуска на обработку.

Наибольший радиус поверхности заготовки в каждом сечении детали для обеспечения минимальных значений углов α, γ, β не должен превышать величину

$$r_{3\,max} = r / \cos\theta_{max} = 1{,}35r. \qquad (2.2)$$

Если на отдельных участках профиля условие (2.2) не выполняется, то необходимо обработку вести за несколько переходов.

Исходя из рис. 15 , можно установить, что

$$\alpha_1 = \alpha + \theta, \gamma = \gamma_1 + \theta. \qquad (2.3)$$

Таким образом, при расчете тангенциального фасонного резца задний угол α и передний угол γ в момент профилирования задают с учетом значения угла θ так, чтобы угол β≥ 45°.

2.3. Профилирование тангенциальных фасонных резцов

Для определения координат точек профиля тангенциального фасонного резца (нормального сечения его задней поверхности) следует поступать следующим образом. Уравнения поверхности детали (1.11) переписывают из системы координат S_1 ($x_1y_1z_1$) в систему координат S_o ($x_oy_oz_o$), связанную с инструментальной поверхностью [3]. Далее находят в этой системе координат уравнение режущей кромки как линии пересечения инструментальной поверхности передней гранью резца. Затем, переписав уравнение режущей кромки в систему координат S_2 ($x_2y_2z_2$), связанную с резцом, находят уравнение его задней поверхности, нормальное сечение которой и есть искомый профиль резца.

Расположение системы координат показано на рис. 16.

Уравнения поверхности детали (1.11) в системе S_0 (x_0 y_0 z_0) имеют вид

$$\begin{cases} x_0 = R_i \cos t + r, \\ y_0 = R_i \sin t, \\ z_0 = l_{li}. \end{cases} \qquad (2.4)$$

Уравнения передней поверхности в системе S_0:

$$\begin{cases} x_n = r - R_i, \\ y_n = l_i tg\lambda + (R_i - r)tg\gamma, \\ z_n = l_i. \end{cases} \qquad (2.5)$$

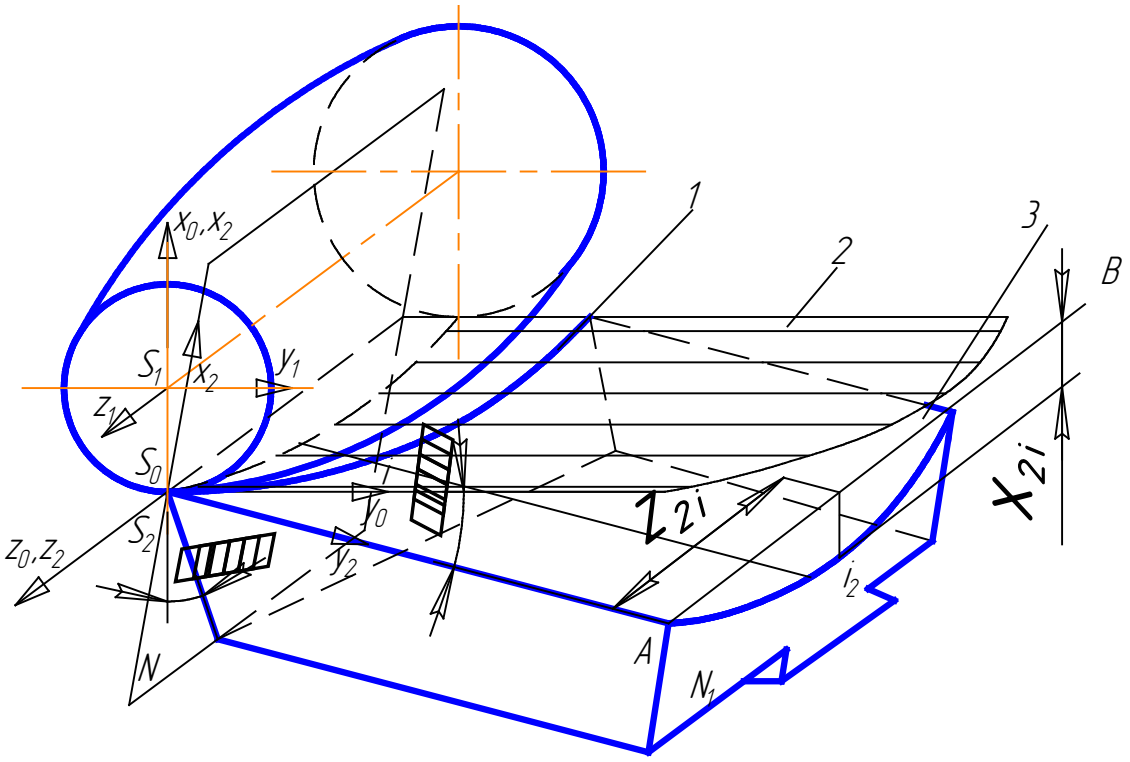


Рис. 16. Схема профилирования тангенциального резца

Переписав уравнение (2.5) в систему S_2 (x_2 y_2 z_2), получим уравнения задней поверхности резца:

$$\begin{cases} x_2 = [l_i tg\lambda + (R_i - r)tg\gamma]\sin\alpha - (R_i - r)\cos\alpha, \\ y_2 = [l_i tg\lambda + (R_i - r)tg\gamma]\cos\alpha + (R_i - r)\sin\alpha, \\ z_2 = l_i. \end{cases} \qquad (2.6)$$

Рассекая поверхность (2.6) плоскостью y_2 = const, например y_2 =0, получаем уравнения для расчета координат профиля тангенциального резца:

$$\begin{cases} x_2 = l_i tg\lambda \sin\alpha - [(R_i - r)\cos(\alpha + \gamma)/\cos\gamma], \\ z_2 = l_i. \end{cases} \qquad (2.7)$$

где R_i — радиус i-й точки профиля детали;

r — минимальный радиус профиля детали;

1_i — расстояние от базового торца детали i-й точки профиля.

Профиль тангенциального резца по координатам x_2 и z_2 строят в плоскости N. На рис. 16 в плоскости N_1, параллельной N, показаны координаты точки i_2 профиля резца, обрабатывающей точку i_1 профиля детали. Образующая точки A задней поверхности резца проходит через начало координат S_2, поэтому точка A — базовая точка профиля. Из этой точки проводят линию AB , параллельную базе креп-

ления (линия АВ параллельна оси z_2). Размеры z_2 откладывают на линии АВ от базового торца, а размеры x_2 — от линии АВ к опорному торцу, так как координаты x_2 точек профиля резца, вычисленные по формуле (2.7), согласно принятым системам координат, отрицательные.

3. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Для расчета профиля фасонных резцов на ЭВМ необходимо ввести следующие исходные данные:

— тип резца (радиальный или тангенциальный, круглый или призматический);

— геометрические параметры режущей части (углы α, γ, ε, для тангенциальных еще λ в градусах (см. табл. 1.1);

— минимальный радиус детали r, мм;

— уточненное, т.е. округленное до десятых долей мм, значение смещения h_p для круглого резца, (ЭВМ сначала сама рассчитывает значение h_p и выдает его на экран дисплея), так как на станках с такой точностью устанавливается смещение h_p;

— диаметр базовой поверхности детали, мм;

— диаметр заготовки d_3 в мм для тангенциальных резцов, если d_3 больше допустимого значения, то ЭВМ рассчитает максимально допустимый d_3;

— тип обрабатываемых поверхностей — наружные или внутренние;

— количество обрабатываемых поверхностей;

— данные о поверхностях:

цилиндрическая — диаметр d_o и длина поверхности;

коническая — диаметры d_o в начале и в конце поверхности, длина поверхности (отсчет начала поверхностей от какой-то одной крайней поверхности правой или левой);

сферическая — диаметры d_o в начале и в конце поверхности, длина поверхности, радиус поверхности со знаком (+) для выпуклой, со знаком (–) для вогнутой;

произвольная — длина поверхности и диаметры d_o десяти точек через равные промежутки;

необрабатываемая — длина поверхности.

После ввода исходных данных можно их исправить или начать расчет, для этого нужно навести курсор (засвеченную рамку) в меню на нужный вид работы. Результаты расчета нужно сначала просмотреть на экране («просмотр отсчета» в меню), если нужно — внести исправления («исправить данные»), если все нормально, то включить принтер и «распечатать отчет».

При работе на ЭВМ в нижней части экрана всегда есть подсказки для значений некоторых клавиш на клавиатуре.

Результатом расчета являются:

— глубины профиля резца в узловых точках;

— расстояния от базового торца до узловых точек;

— углы наклона режущей кромки для конических поверхностей;

— радиусы дуги режущих кромок для сферических поверхностей и координаты центров этих радиусов;

— пересчитанные значения углов α и γ.

Алгоритм расчета фасонных резцов состоит из трех этапов. На I этапе определяются значения координат узловых и промежуточных точек профиля детали, на II этапе определяются значения координат точек профиля резца, и на III этапе определяются размеры профиля резца от измерительной базы. Расчеты на I и II этапах выполняются одинаково для всех типов резцов.

I этап. Определение координат точек профиля детали (см. рис. 9).

1. Координаты узловых (начала и конца поверхности) точек (рис. 17) определяется по формуле:

$$x_i = 0{,}5d_{ci} = 0{,}5(d_i + es_i - 0{,}5Td_i) \qquad (3.1)$$

Координата Z_i равна расстоянию от базового торца l_i узловой точки.

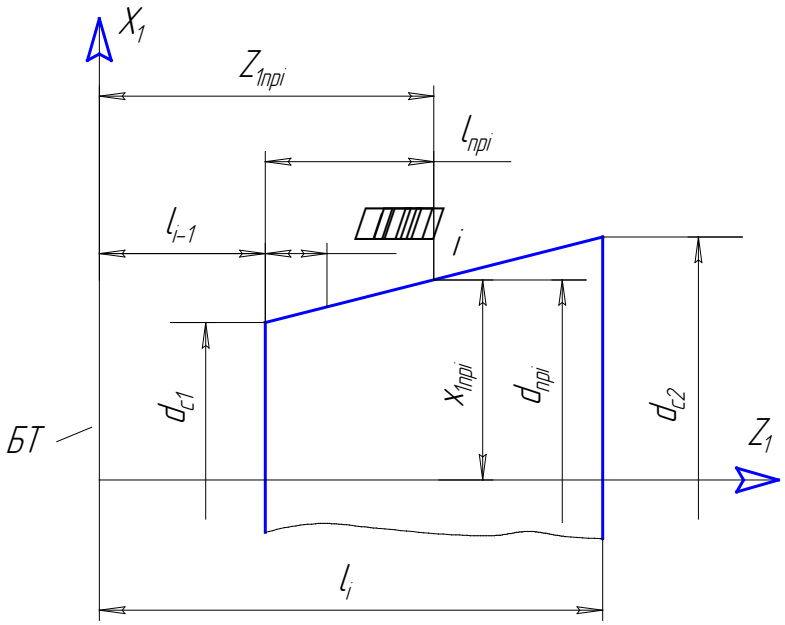


Рис. 17. Определение координат узловых и промежуточных точек

2. Координаты промежуточных точек каждой элементарной поверхности определяются следующим образом.

Цилиндрическая поверхность:

$$x_{\text{прi}} = 0{,}5d_{ci} = 0{,}5d_i,\ Z_{\text{прi}} = l_{\text{прi}}. \qquad (3.2)$$

Расчет производится по координатам одной точки.

Коническая поверхность. Для неточных конических поверхностей (фаски и т.п.) расчет ведут по крайним точкам:

$$x_1 = 0{,}5d_{c1},\ x_2 = 0{,}5d_{c2},$$
$$Z_1 = l_{i-1},\ Z_2 = l_i. \qquad (3.3)$$

где d_{c1}, d_{c2} — средние диаметры узловых точек, сопряженных с конической поверхностью поверхностей,

l_{i-1}, l_i — расстояния от базового торца (БТ) до наиболее удаленной узловой точки предыдущей и конической поверхности соответственно.

Для точных конических поверхностей расчет ведут по 10 точкам поверхности, разделяя ее на участки

$$\Delta l = (l_i - l_{i-1})/9. \qquad (3.4)$$

Координаты крайних узловых точек определяют по формулам (3.3), а промежуточных — по формулам

$$x_{\text{пр}i} = 0{,}5d_{c1} + l_{\text{пр}i} \cdot [(d_{c1} - d_{c2})/2(l_i - l_{i-1})],$$
$$Z_{\text{пр}i} = l_{i-1} + l_{\text{пр}i},$$

где
$$l_{\text{пр}i} = \Delta l n,\ \Delta l = (l_i - l_{i-1})/9,\ n = 0, 1, 2...9. \qquad (3.5)$$

Поверхность, описанная дугой окружности. Расчет ведут по 10 точкам. Длина хорды (рис. 18)

$$c = \sqrt{(l_{i-1} - l_i)^2} + \frac{(d_{c1} - d_{c2})^2}{4}. \qquad (3.6)$$

Расстояние от центра 0 дуги до хорды

$$h = \sqrt{r_c^2 - 0{,}25c^2}\ . \qquad (3.7)$$

Координаты средней точки М хорды:

$$X_м = (d_{c1} + d_{c2})/4,$$
$$Z_м = (l_{i-1} + l_i)/2. \qquad (3.8)$$

Угол между хордой и положительным направлением оси

$$\varphi = \text{arctg}\frac{d_{c2} - d_{c1}}{2(l_{i\ 1} - l_i)}. \qquad (3.9)$$

Координаты центра дуги:

$$X_0 = X_м + K_1 h|\cos\varphi|,$$
$$Z_0 = Z_м + K_2 h|\sin\varphi|, \qquad (3.10)$$

где $K = \pm 1$ — число, характеризующее вид поверхности и расположение центра 0 относительно ее границ.

Правило знаков следующее:

если поверхность выпуклая и $\varphi \langle 90^0\ K_1 = -1; K_2 = +1$;

если поверхность выпуклая и $\varphi \rangle 90^0\ K_1 = K_2 = -1$;

если поверхность вогнутая и $\varphi \langle 90^0\ K_1 = +1; K_2 = -1$;

если поверхность вогнутая и $\varphi \rangle 90^0\ K_1 = K_2 = +1$.

Координаты промежуточных точек (радиус r_c со знаком + для выпуклых, со знаком – для вогнутых поверхностей):

$$X_{\text{пр}i} = X_0 + r_c|\sin\varphi_i|;$$
$$Z_{\text{пр}i} = l_{i-1} + l_{\text{пр}i}, \qquad (3.11)$$

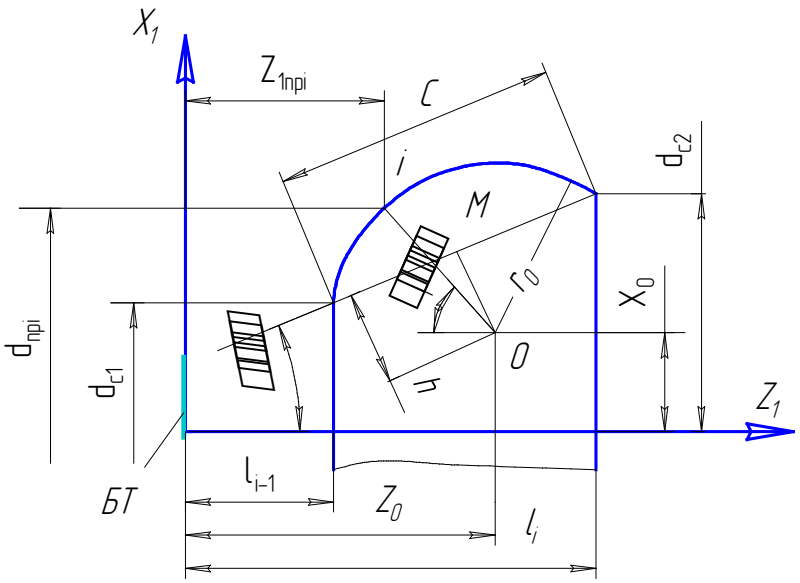


Рис.18. Определение координат промежуточных точек торовой поверхности

$$\varphi_i = \arccos\frac{Z_0 - (l_{i-1} + l_{\text{пр}i})}{|r_c|};$$

где

$$l_{\text{пр}i} = \Delta l n; \Delta l = (l_i - l_{i-1})/9; n = 0,1,2,.....9.$$

Координаты точек поверхности, заданной произвольной кривой, определяются так же, как для узловых точек, так как на чертежах размеры таких поверхностей задаются координатным методом.

II этап. Определение координат точек профиля детали в порядке их расположения относительно базового торца, X_{2i}, Z_{2i} — координаты соответствующих точек профиля резца.

1. Передний γ и задний α углы и угол наклона базы ε назначают по рекомендациям 1.2.

2. Наружный диаметр круглого резца:

для наружного точения

$$D=(6\ldots8)t_{max} \qquad (3.12)$$

для внутреннего точения

$$D = 0,75D_0, \qquad (3.13)$$

где t_{max} — максимальная глубина профиля детали,

D_0 — диаметр отверстия до обработки.

Значение рассчитанного диаметра В округляется до ближайшего стандартного значения (см. табл. в п.4.).

3. Определяют радиус базовой точки на профиле детали:

при наружном точении $r=r_{min}$,

при внутреннем точении $r=r_{max}$. (3.14)

Примечание. По формулам, кроме формулы (3.17), расчет проводить для всех точек профиля.

4. Вспомогательные величины:

$$\sin F = (Z_i \sin\varepsilon + r\cos\varepsilon)\sin\gamma / A; \quad (3.15)$$

$$A = \sqrt{\sin^2\gamma\cos^2\varepsilon + \cos^2\gamma}; \quad (3.16)$$

$$\mathrm{tg}\varphi = \mathrm{tg}\gamma\cos\varepsilon; \quad (3.17)$$

$$t = F - \varphi. \quad (3.18)$$

5. Координаты поверхности детали в системе S_0:

$$\begin{aligned} x_{0i} &= (x_{i1} - r)\cos\gamma\cos\varepsilon - y_{i1}\sin\gamma - Z_{i1}\cos\gamma\sin\varepsilon; \\ y_{0i} &= (x_{i1} - r)\sin\gamma\cos\varepsilon - y_{i1}\cos\gamma - Z_{i1}\sin\gamma\sin\varepsilon; \\ z_{0i} &= (x_{i1} - r)\sin\varepsilon + z_i\cos\varepsilon. \end{aligned} \quad (3.19)$$

6. Координаты точек профиля:

а) призматический резец

$$\begin{aligned} x_{2i} &= x_{0i}\cos(\alpha+\gamma) + y_{0i}\sin(\alpha+\gamma); \\ z_{2i} &= z_{0i} \end{aligned} \quad (3.20)$$

б) круглый резец

$$\begin{aligned} \mathrm{tg}\tau_1 &= \frac{0{,}5D\sin(\alpha+\gamma) - y_{0i}}{0{,}5D\cos(\alpha+\gamma) - x_{0i}}; \\ x_{2i} &= x_{0i}\cos\tau_i + y_{0i}\sin\tau_i - 0{,}5D\cos(\alpha+\gamma-\tau_i); \\ z_{2i} &= z_{0i}. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Тангенциальные фасонные резцы.

1. Вспомогательный угол

$$\theta = \arccos(d_{min} / d), \quad (3.22)$$

где d_{min} — минимальный диаметр профиля детали,

d_3 — диаметр заготовки.

Если $\theta \rangle 42^0$, то обработку детали необходимо выполнять за несколько проходов. Приняв припуск на чистовую обработку 2...3 мм на диаметр, определяют угол θ по формуле (3.22) при значении $d_3 = d_{min} + (2..3)$мм.

1. Задний угол в момент профилирования $\alpha = 2{,}5...7^0$.

2. Передний угол в момент профилирования (см. п. 2.2)

$$\gamma = \theta + (0....5^0). \quad (3.23)$$

3. Радиус базовой точки профиля детали $r=r_{min}$. (3.24)

4. Координаты точек профиля резца (расчет выполнять для каждой точки профиля детали):

$$x_{2i} = l_i \operatorname{tg}\lambda \sin\alpha - \frac{(R_i - r)\cos(\alpha+\gamma)}{\cos\gamma}; \qquad (3.25)$$

$$z_{2i} = z_{0i}.$$

III этап. Определение размеров профиля резца от измерительной базы.

Профиль фасонного резца проверяют на инструментальном микроскопе или шаблоном. Если профиль проверяют на микроскопе, то размеры профиля на чертеже резца можно проставлять от базовой точки режущей кромки такими, какие они получились при расчете по формулам (3.20), (3.21) и (3.25). В случае контроля профиля резца шаблоном, последний должен устанавливаться на измерительные базовые поверхности профиля детали. В качестве измерительных баз для высотных размеров принимают участок профиля, параллельный оси детали наибольшей протяженности, а для линейных размеров — участок, перпендикулярный оси детали. Если таких участков на профиле нет, то их создают искусственно. При контроле профиля резца шаблоном высотные и линейные размеры профиля пересчитывают от измерительной базы. На рис. 4.3. базовой точкой резца служит точка 3, от которой отсчитываются все координаты профиля. В качестве базовых для этого профиля следует принять участок 1-2 для высотных и 4-5 для линейных размеров (показаны утолщенной линией). Если размер от базовой точки резца до измерительной базы 1-2 равен $x_{2(1)}$, а до точки 5 — $x_{2(5)}$, то на чертеже профиля необходимо ставить размер $T_5 = x_{2(5)} - x_{2(1)}$. В общем случае размеры профиля от измерительной базы определяются по формуле

$$T_i = x_{2(i)} - x_{2(\delta)}, \qquad (3.26)$$

где $x_{2(\delta)}$ — размер от базовой точки режущей кромки до измерительной базы.

Аналогично рассчитываются линейные L_i измерительные размеры профиля.

Предельные отклонения размеров T_i и L_i равны $\pm 0{,}1T_{di}$, где T_{di} — допуск на соответствующий размер профиля детали.

4. ГАБАРИТНЫЕ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Фасонные резцы устанавливаются в специальные державки, размеры которых стандартизированы.

Ширина резца (рис. 19)

$$L_p = l + l_1 + l_2 + l_{уп}, \qquad (4.1)$$

где 1 — длина профиля резца между крайними базовыми точками;

1_1 — дополнительный участок, определяющий положение отрезного резца

$$1_1 = b + (1\ldots2) \text{ мм}; \qquad (4.2)$$

b — ширина отрезного резца, $\varphi_1 = 15°$;

$1_2 = 2\ldots3$ мм — участок для образования припуска на подрезку внешнего торца детали и обработку фаски под углом φ;

$1_{уп}$ = 3…5 мм — упрочняющая часть.

Остальные линейные размеры резцов (см. рис. 19) принимать по табл. 2.

Длина призматического резца

$$L = (2...4)L_p, \tag{4.3}$$

но не более 100 мм.

Таблица 2

Габаритные размеры резцов

Призматические					Круглые						
t_{max}	C	h	a	e	D	D(H8)	d_1	d_2	D_1	b_{max}	R
4	10	7.5	24,1	10	50	12	20	5	28	9	1
6	15	14	40,6	15	50	12	20	5	28	9	1
8	15	14	40,6	15	60	16	25	5	34	11	1
10	20	14	47,6	20	75	22	34	6	42	15	2
15	25	14	57,6	25	90	22	34	6	45	18	2
20	35	17	74,4	30	100	27	40	8	52	25	3
25	-	-	-		120	27	40	8	55	30	3

Примечания:

1. Размер a для призматических резцов не должен превышать 0,75 L_p.
2. Размер e выбирается соответственно размеру a.

Размер K по роликам для контроля «ласточкиного хвоста»

$$K = a - 2h\mathrm{ctg}\lambda + d \cdot (1 + \mathrm{ctg}\lambda / 2), \tag{4.4}$$

где d — диаметр ролика.

Диаметр ролика d выбирают из стандартного ряда так, чтобы выполнялось условие K > a .

Угол ε_1 выреза у радиального круглого резца

$$\varepsilon_1 = 90^0 - \gamma, \tag{4.5}$$

но не менее 70°.

Размеры резцов, не относящиеся к профилю и посадочным местам, выполняют с отклонениями по H12, h12.

Примеры оформления чертежей фасонных резцов приведены в работе [6].

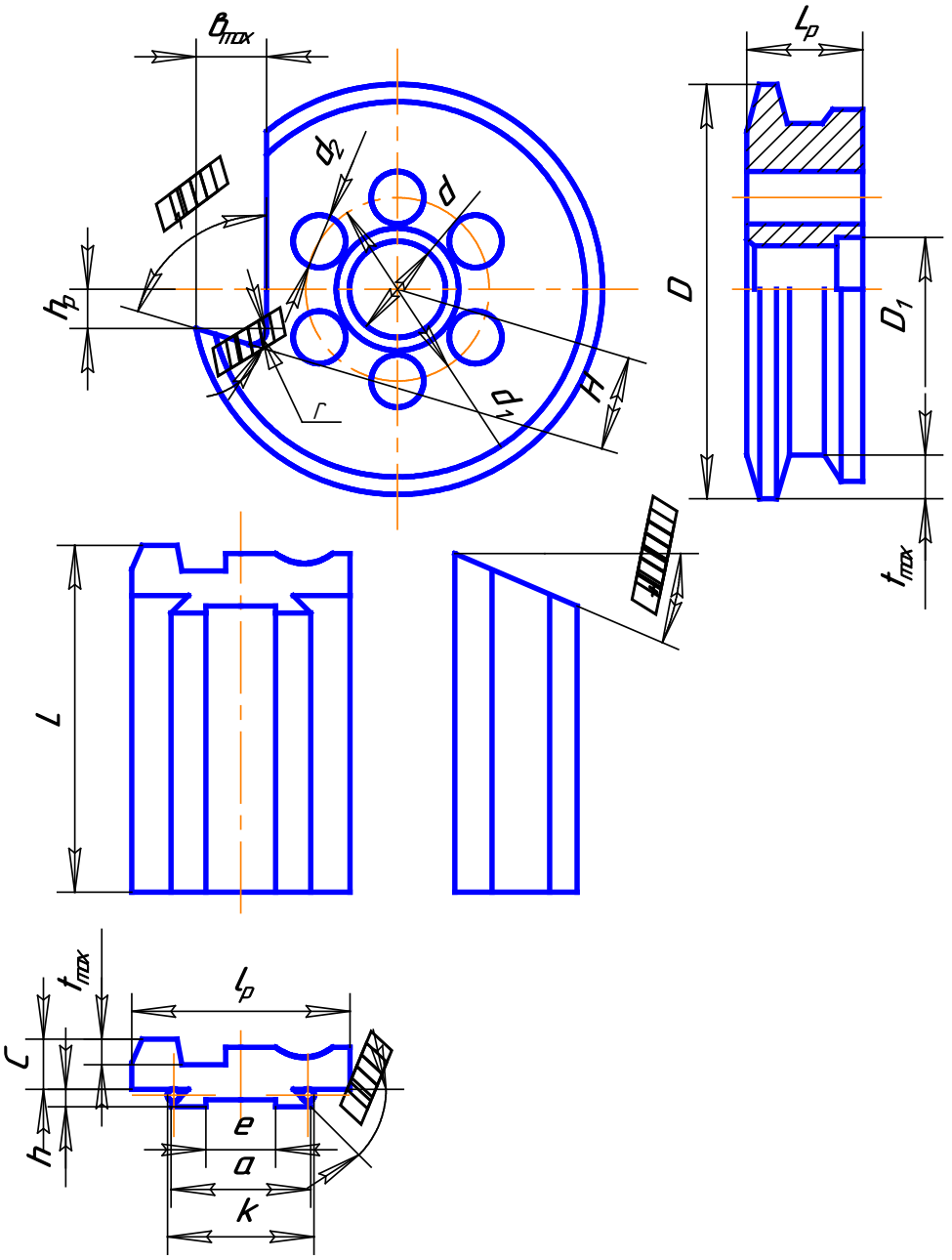


Рис.19. Габаритные и присоединительные размеры радиальных резцов

5. ДЕРЖАВКИ ДЛЯ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Фасонные резцы применяются для обработки деталей на различных типах станков. Наиболее часто используются токарные универсальные станки, токарные автоматы и полуавтоматы, токарно-револьверные, токарные многорезцовые станки и др. Для закрепления фасонных резцов на этих станках применяются различные виды специальных державок. На рис. 20 ÷ рис. 26 показаны наиболее часто применяемые державки для фасонных резцов.

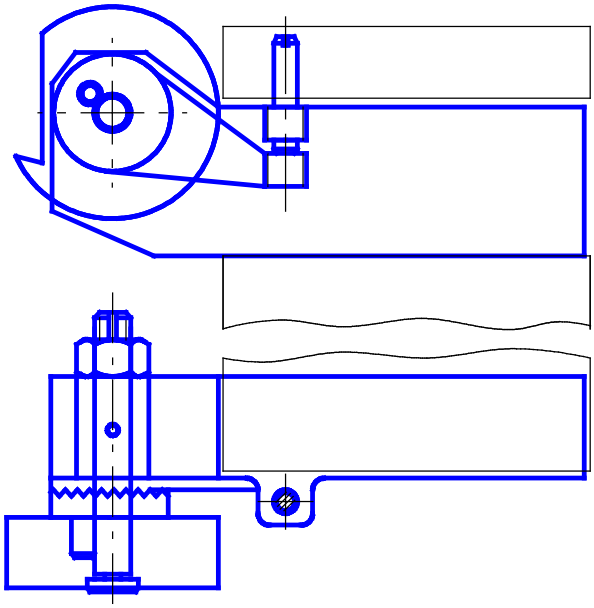


Рис. 20. Державка для круглых фасонных резцов для работы на токарных и токарно-револьверных станках

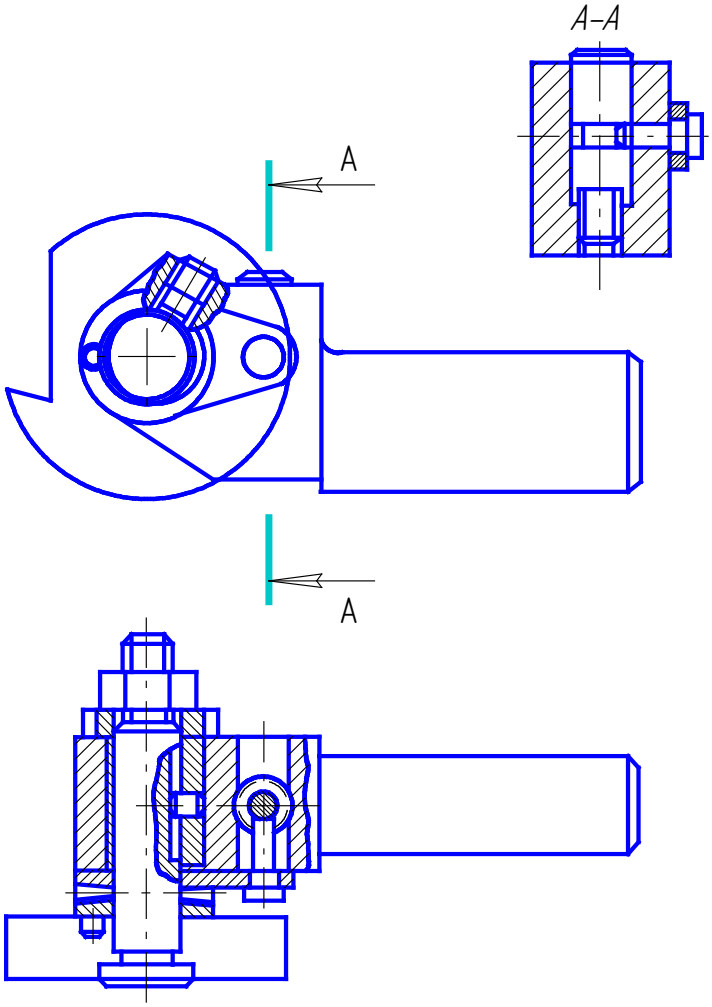


Рис. 21. Державка для работы на токарных и токарно-револьверных станках

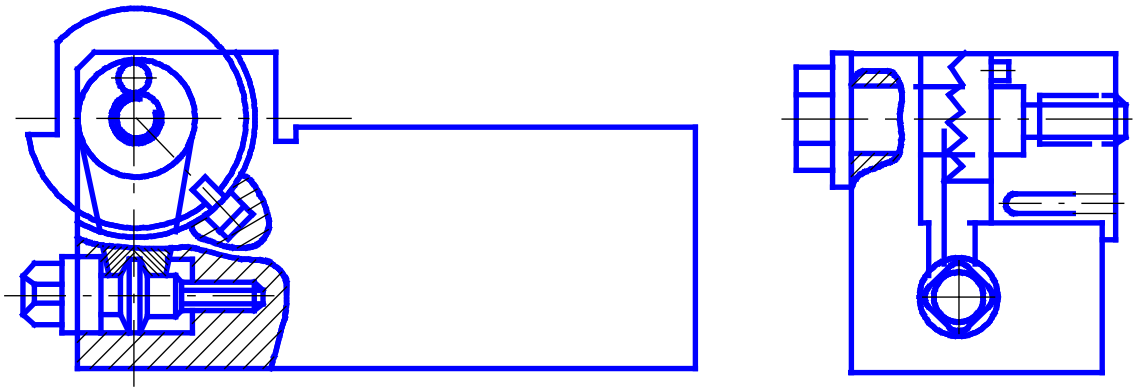


Рис. 22. Державка для круглых резцов для работы на автоматах и полуавтоматах 1А225, 1А240 (тип А) и 1Б240 (тип Б)

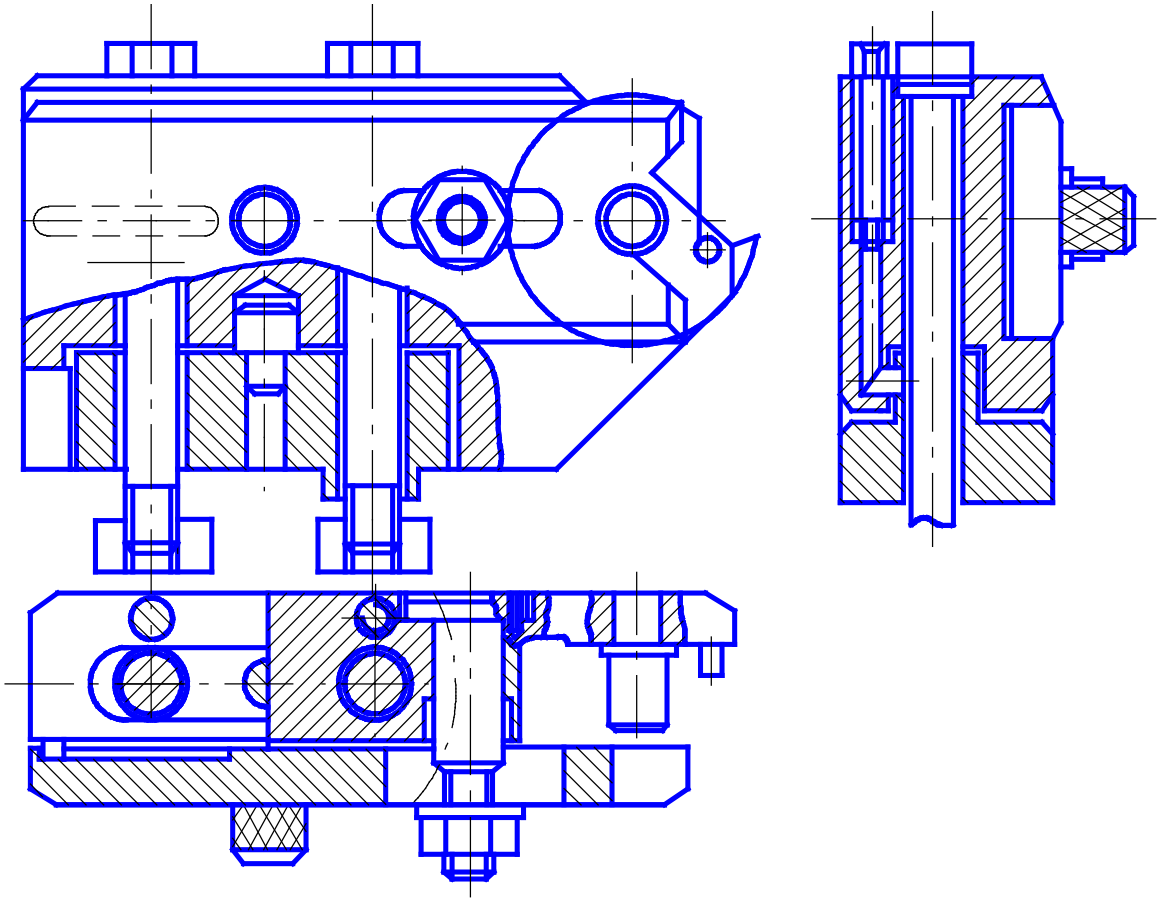


Рис. 23. Быстросменная державка для круглых резцов

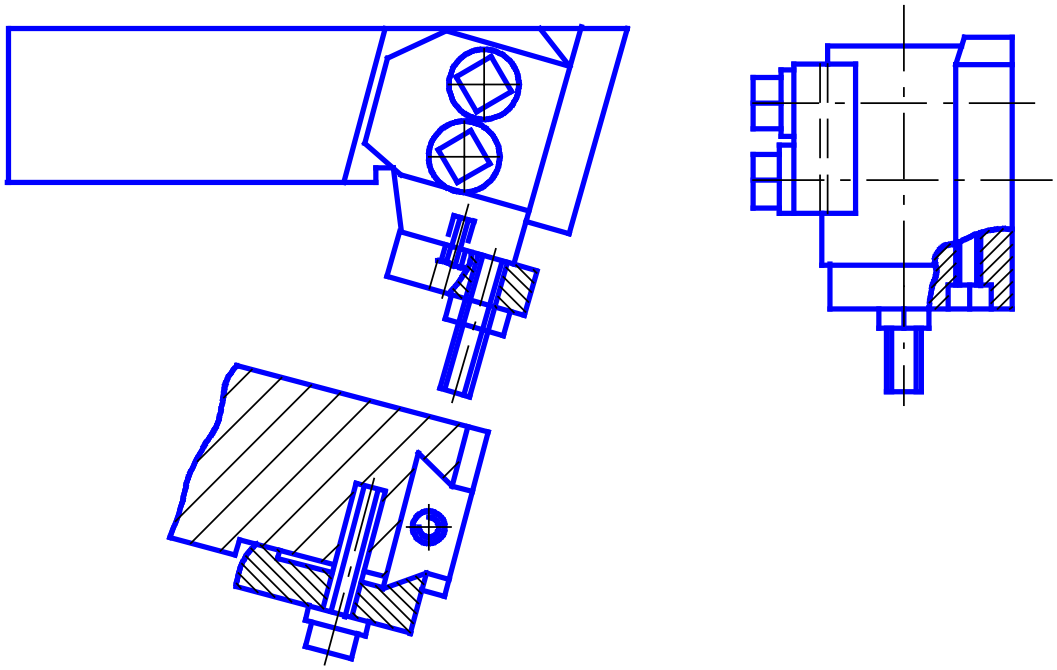


Рис. 24. Державка для призматических резцов

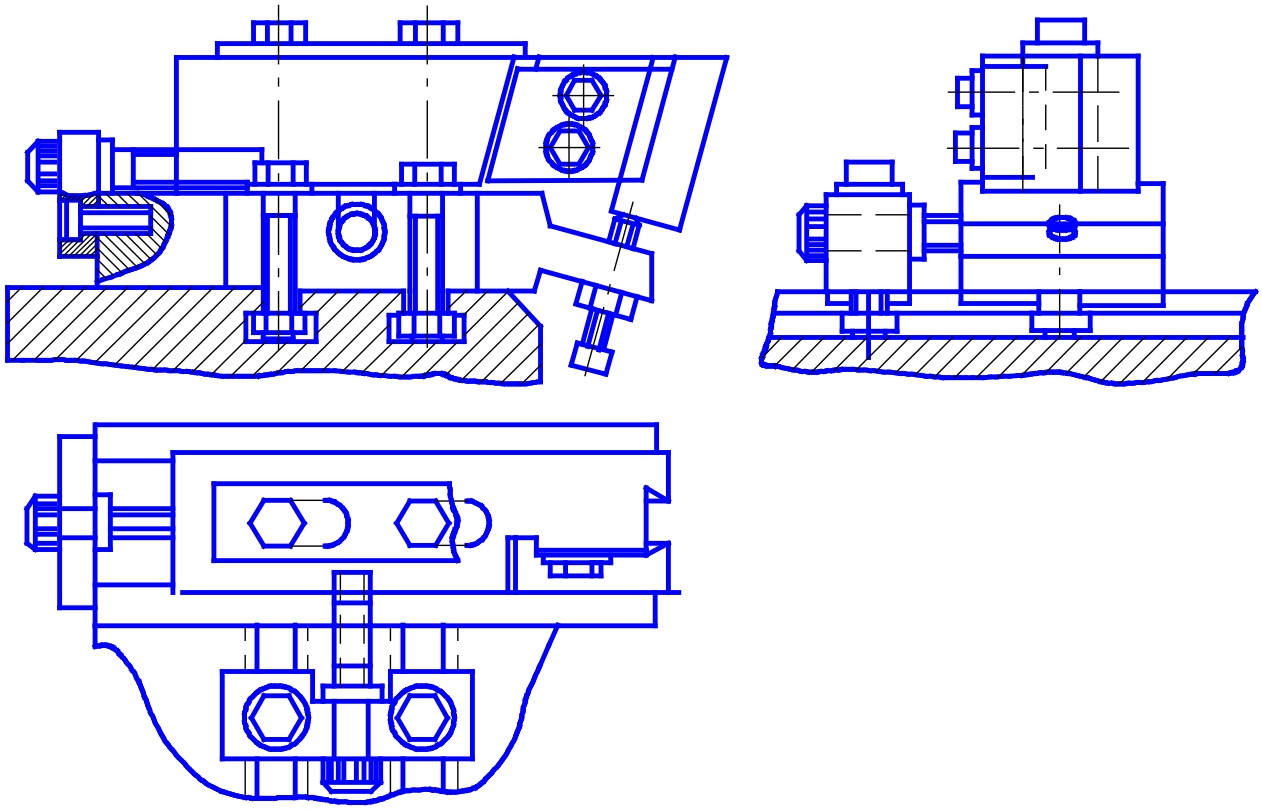


Рис. 25. Державка для работы на автоматах 1А240

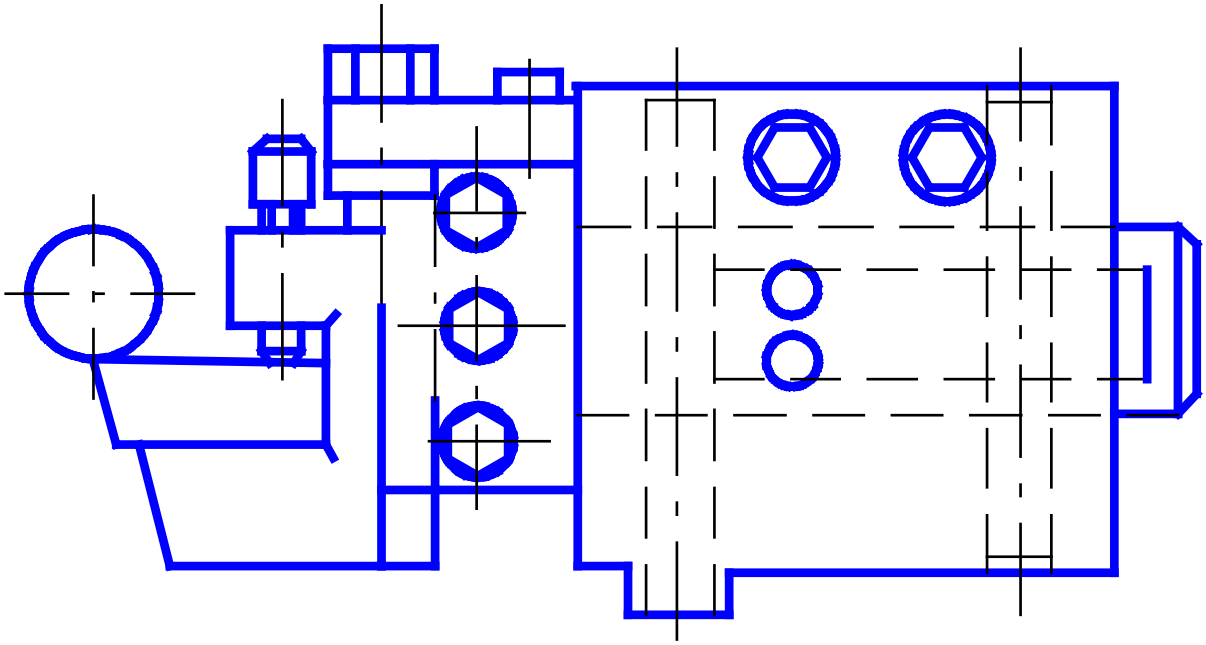


Рис. 26. Державка для тангенциальных резцов для работы на автоматах и полуавтоматах

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грановский Г.И., Паченко К.П. Фасонные резцы. — М.: Машиностроение, 1975. — 132 с.
2. Семко М.Ф., Перепелица Б.А. Фасонное точение. — Харьков: Висшая школа, 1977. — 159 с.
3. Надеин В.С. Проектирование фасонных резцов: Учебное пособие. — Челябинск: ЧПИ, 1984. — 36 с.
4. Карсунцев А.И., Дерябин И.П. Фасонные резцы: Учебное пособие. — Челябинск: ЧГТУ, 1995. — 43 с.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. — М.: Наука, 1970. — 720 с.
6. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учебное пособие для техникумов по предмету «Основы учения о резании металлов и режущий инструмент». — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1990. — 448 с.