



Государственное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Дисциплина «Технология машиностроения»

Лекция 2 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА»

Проектирование операций технологического процесса

Технологическая операция – это часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми изделиями, одним или несколькими рабочими.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета.

Спроектированные операции ТП являются основой для:

- **определения трудоемкости изготовления изделий;**
- **установления норм времени и расценок;**
- **определения требуемого количества рабочих, оборудования, приспособлений и инструментов;**
- **определения себестоимости обработки;**
- **проведения календарного планирования производства;**
- **осуществления контроля качества и сроков выполнения работ.**

Исходные данные для проектирования технологической операции

```
graph TD; A[Исходные данные для проектирования технологической операции] --> B[Операционный эскиз]; A --> C[Модель станка и его технические характеристики]; A --> D[Эскиз заготовки, поступающей на операцию]; A --> E[Сведения о наличии приспособления, режущего и мерительного инструмента];
```

Операционный эскиз

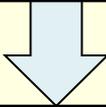
Модель станка и его технические характеристики

Эскиз заготовки, поступающей на операцию

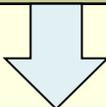
Сведения о наличии приспособления, режущего и мерительного инструмента

Этапы проектирования операции

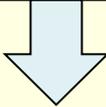
1 **Определение наименований, материалов режущей части и количества инструментов в наладке**



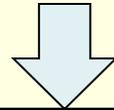
2 **Определение структуры операции**



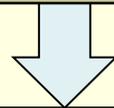
3 **Расчет (выбор) режимов резания**



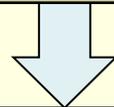
Этапы проектирования операции (окончание)



4 Проектирование схемы наладки



**5 Разработка схем движения инструментов
и расчетно-технологических карт
(для станков с ЧПУ)**



**6 Техническое нормирование операции ТП
и заполнение технологической документации**

Определение наименований, материалов режущей части и количества инструментов в наладке

Технологически необходимые инструменты составляют комплект, состав которого зависит от:

- вида заготовки;
- конфигурации заготовки;
- технологических возможностей станка.

Количество инструментов в наладке и их наименования зависят от:

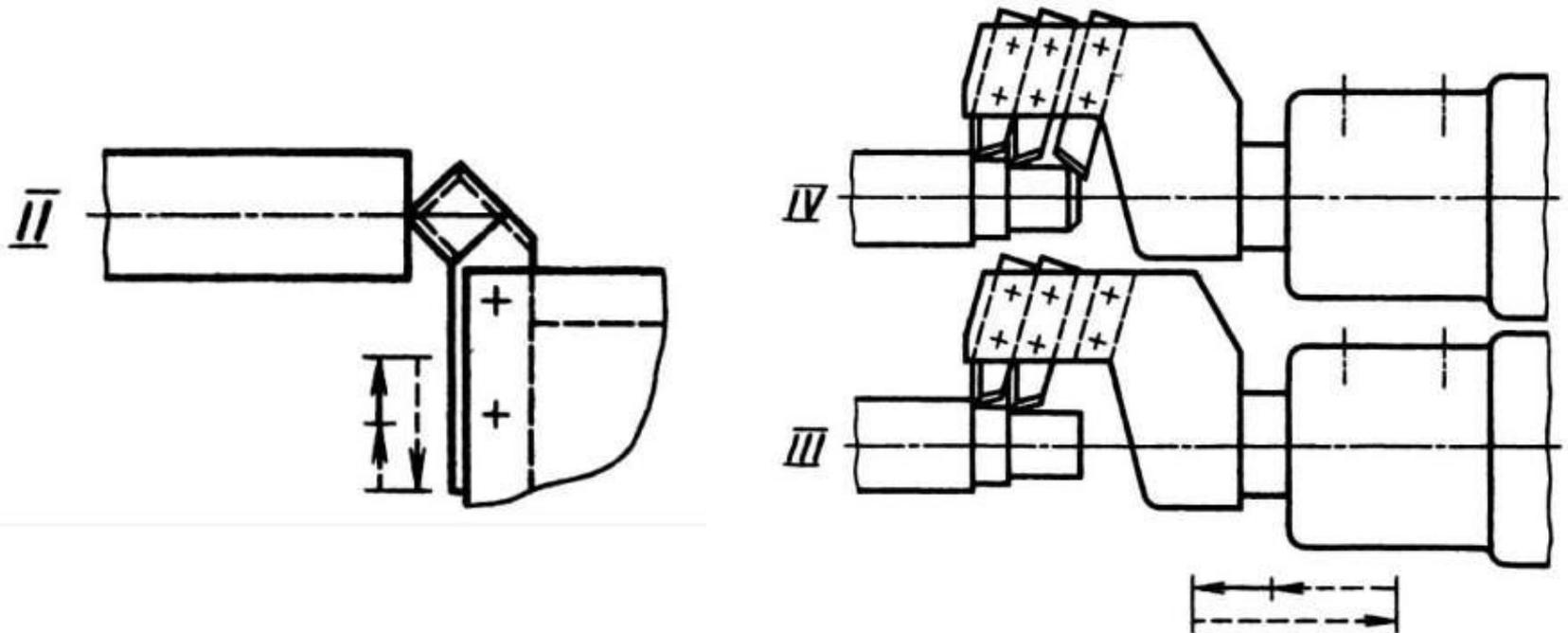
- вида и формы обрабатываемых поверхностей (цилиндрическая или плоская поверхность, канавка, фаска, резьба, крепежное отверстие, уступ, лыска и т.п.);
- положения поверхности (наружная или внутренняя поверхность);
- технологических возможностей станка, позволяющих (не позволяющих) использовать один инструмент для обработки одной или нескольких поверхностей за несколько рабочих ходов;
- необходимости выделять чистовую зону обработки для обеспечения требуемого качества поверхности (шероховатости).

Для обработки за один рабочий ход глубина резания не должна превышать значений, регламентированных для получения заданного качества поверхности

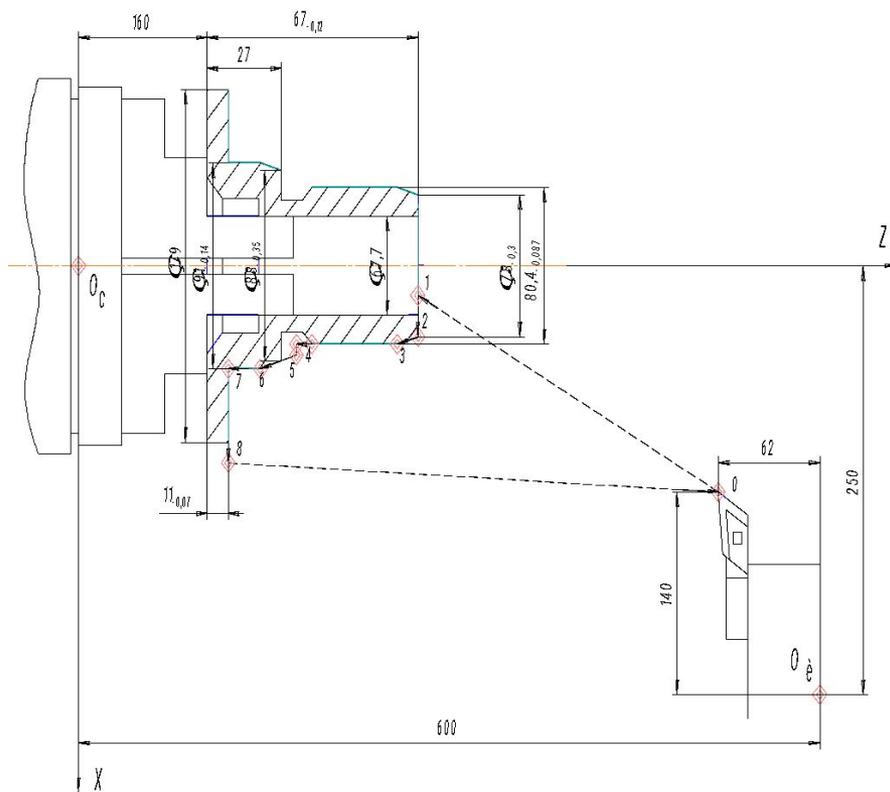
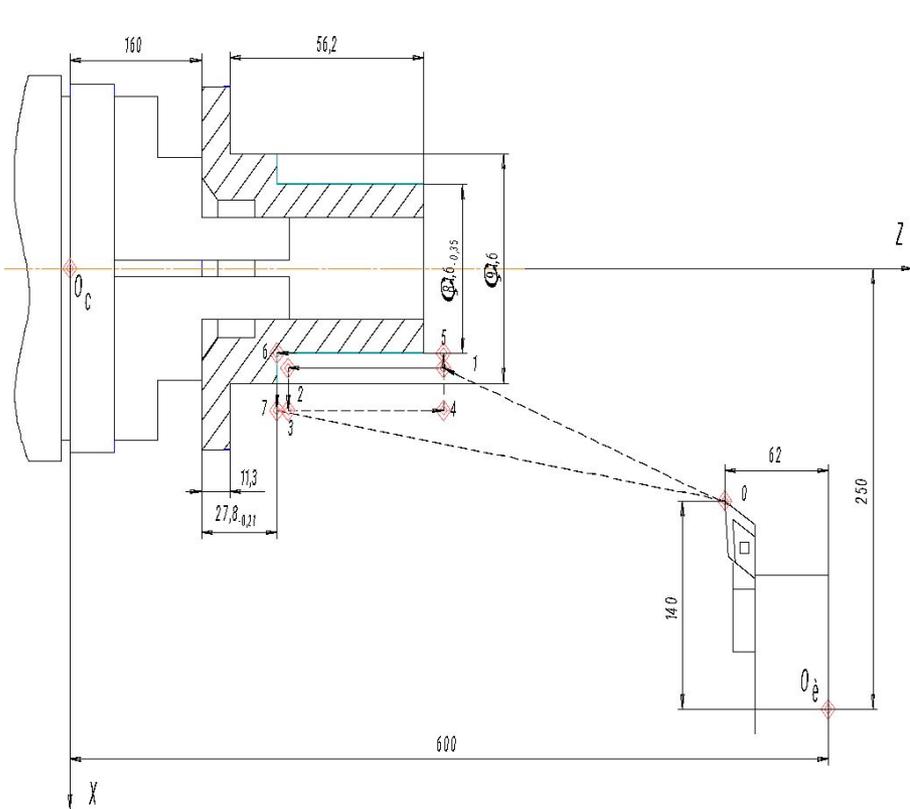
Глубина резания для получения заданного качества поверхности за один рабочий ход

| Требуемая шероховатость поверхности Ra , мкм | Глубина резания t , мм | |
|--|--------------------------|----------------|
| | сталь | цветной металл |
| $Ra > 10$ | $t \leq 6$ | $t \leq 6$ |
| $5 < Ra \leq 10$ | $t \leq 2$ | $t \leq 3$ |
| $2,5 < Ra \leq 5$ | $t \leq 1$ | $t \leq 2$ |
| $1,25 < Ra \leq 2,5$ | $t \leq 0,5$ | $t \leq 0,5$ |
| $Ra \leq 1,25$ | $t \leq 0,3$ | $t \leq 0,3$ |

Для операций, выполняемых на токарно-револьверных станках, токарных автоматах и полуавтоматах, для выбора количества инструментов в наладке следует учитывать технологические возможности этих станков, не позволяющие использовать один инструмент для обработки за несколько рабочих ходов.



Для станков с ЧПУ целесообразно выделять чистовую зону, которая обрабатывается за один рабочий ход. Глубину резания черновой зоны необходимо разделять на количество ходов, учитывая максимальные возможности станка.



Определение структуры операции

Производительность технологической операции в значительной степени зависит от ее структуры.

Структура операции определяется:

- количеством заготовок, одновременно устанавливаемых в приспособлении или на станке (одно- или многоместная обработка);
- количеством инструментов, используемых при выполнении операции (одно- или много-инструментная обработка);
- последовательностью работы инструментов при выполнении операции.

Операция с последовательной структурой характеризуется:

- последовательным вступлением инструментов в работу;
 - или последовательным расположением нескольких обрабатываемых заготовок в приспособлении по направлению движения подачи.
-

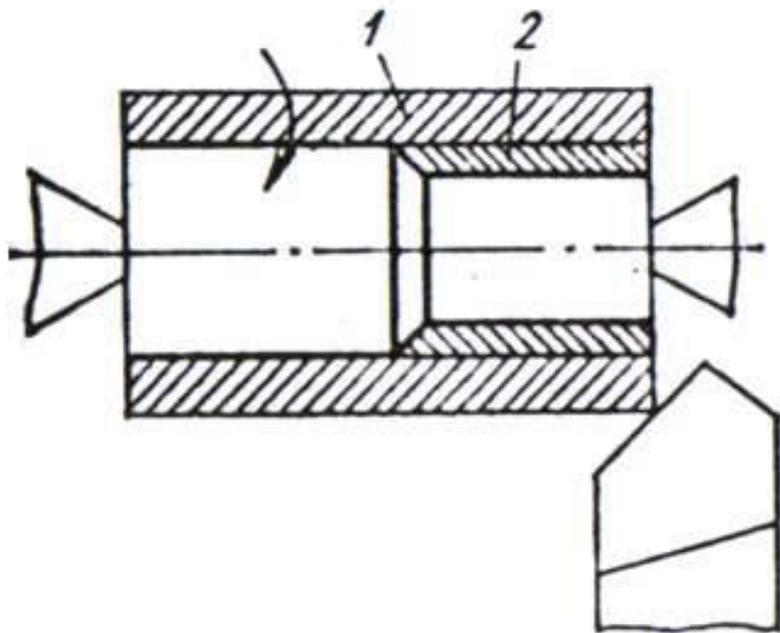
Операция с параллельной структурой характеризуется:

- одновременной обработкой нескольких поверхностей одной или нескольких заготовок;
 - или параллельным расположением обрабатываемых заготовок в приспособлении (то есть при их расположении перпендикулярно к направлению движения подачи).
-

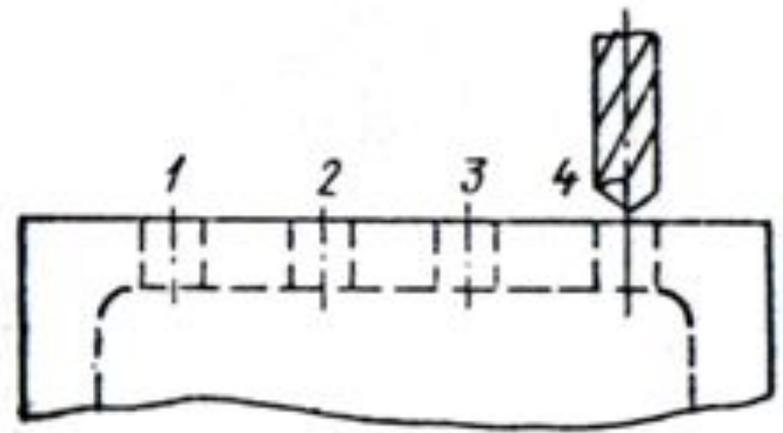
Операция с параллельно-последовательной структурой характеризуется:

- последовательной обработкой групп одновременно обрабатываемых поверхностей одной или нескольких заготовок;
 - или многоместной обработкой заготовок, расположенных в приспособлении в несколько рядов вдоль и поперек движения подачи.
-

Схемы односторонней последовательной одноинструментальной обработки

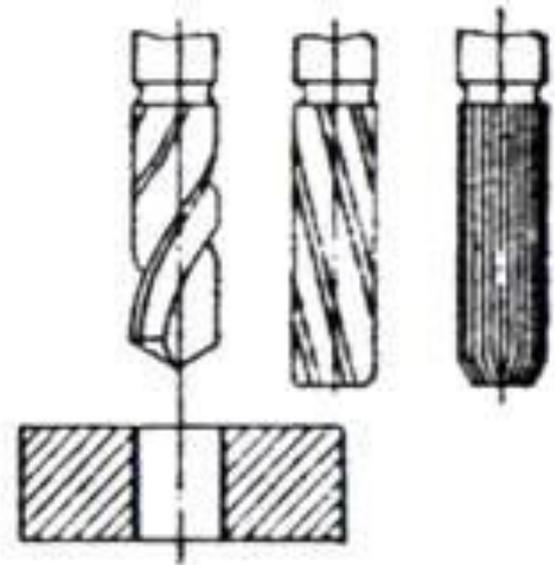
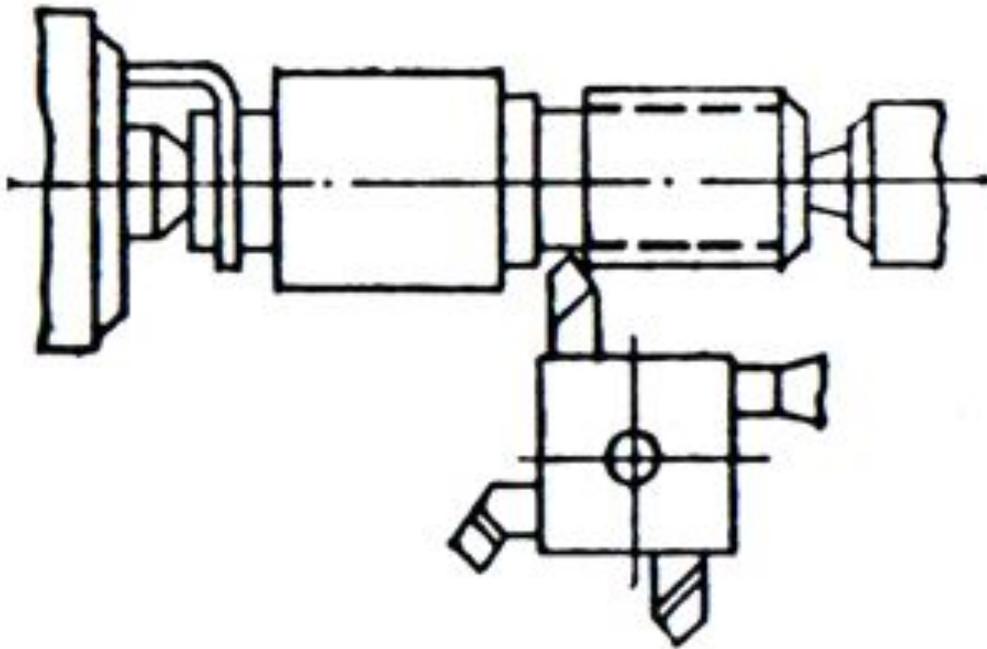


1, 2 – номера ходов
инструмента

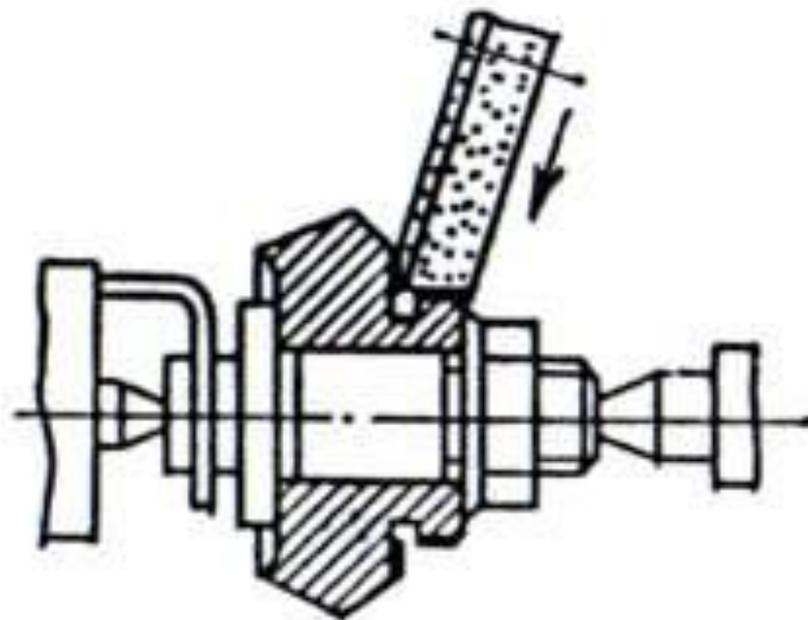
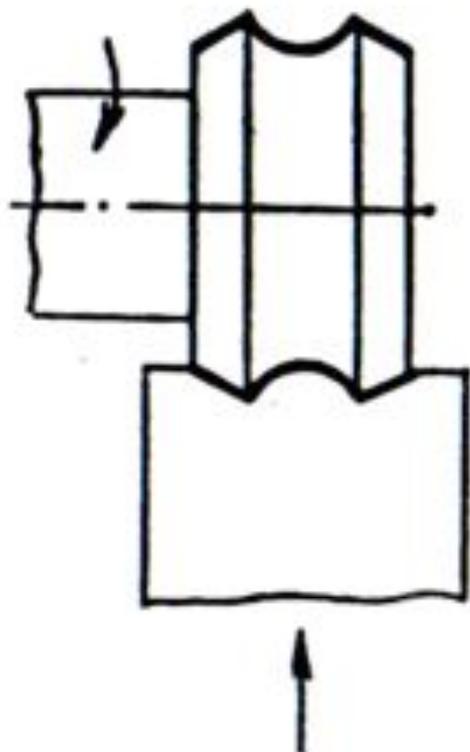


1, 2, 3, 4 – последо-
вательность
положения сверла

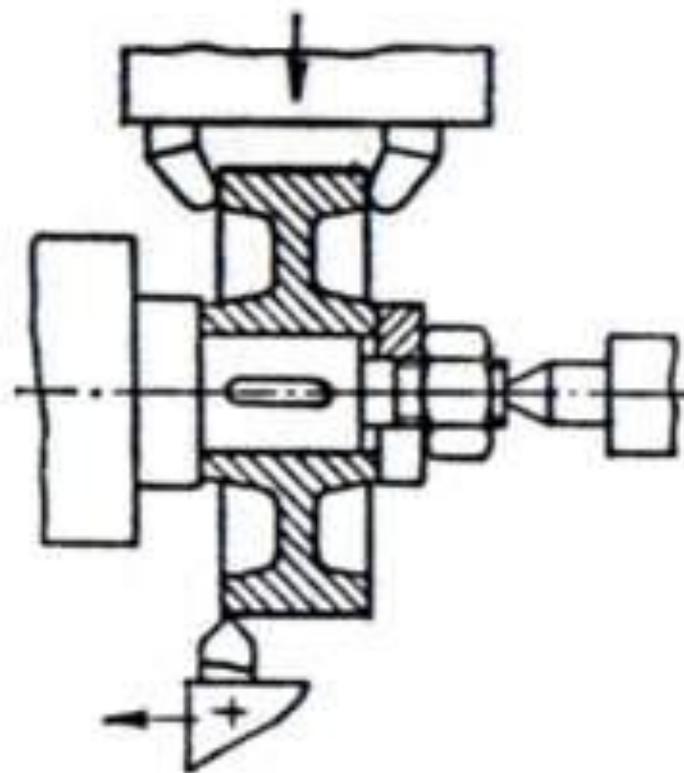
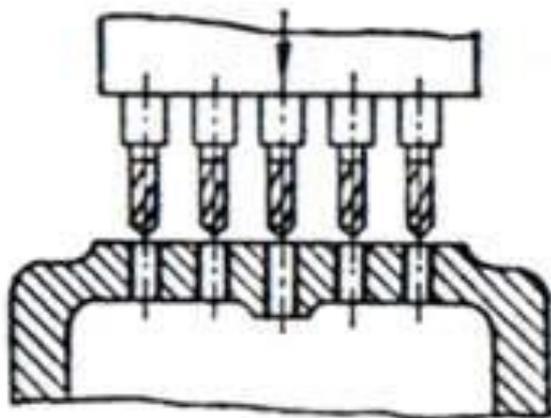
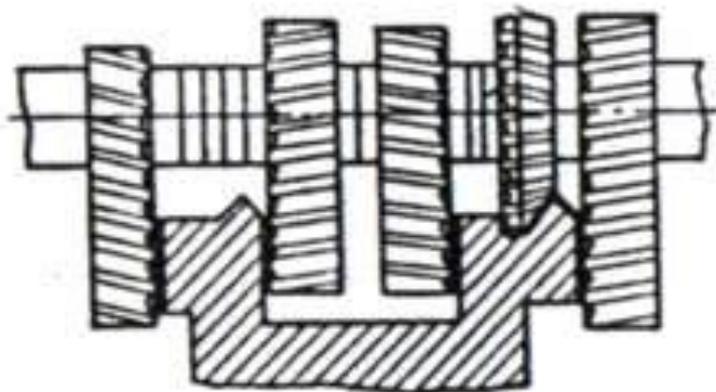
Схемы одноместной последовательной многоинструментальной обработки сменяемым инструментом



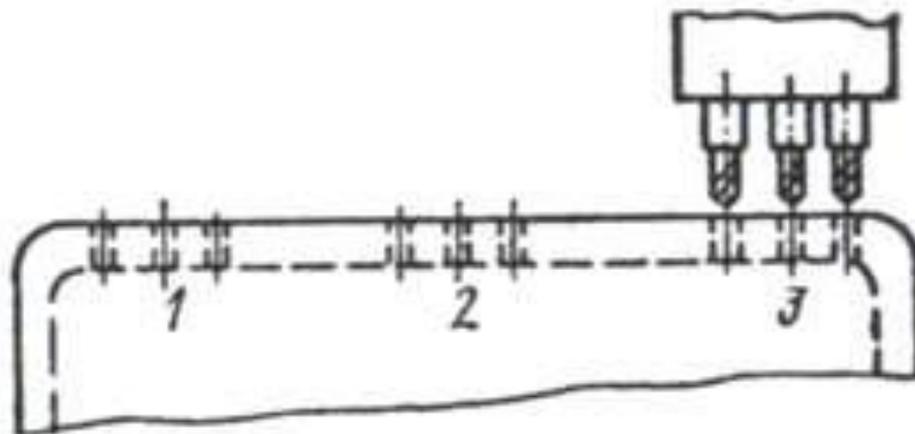
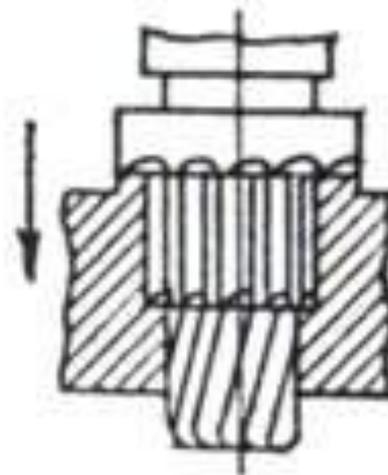
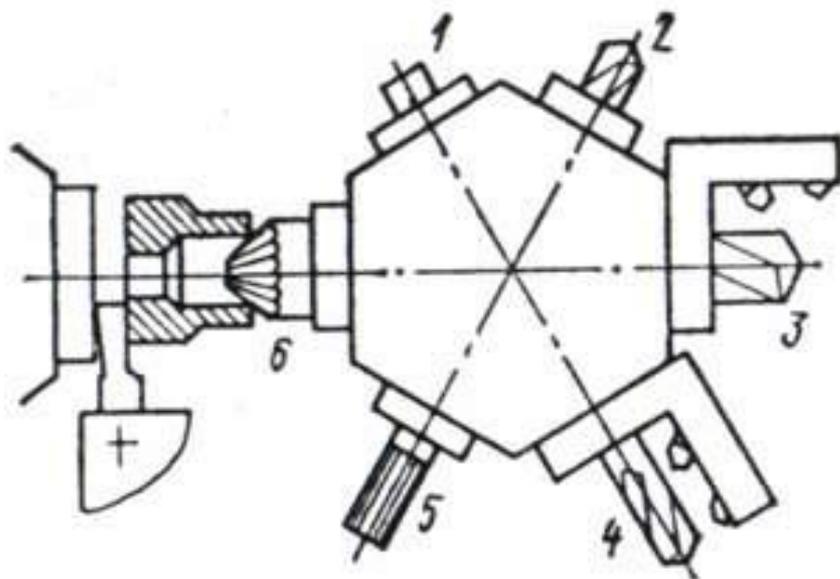
Схемы одноместной параллельной одноинструментальной обработки фасонными инструментами



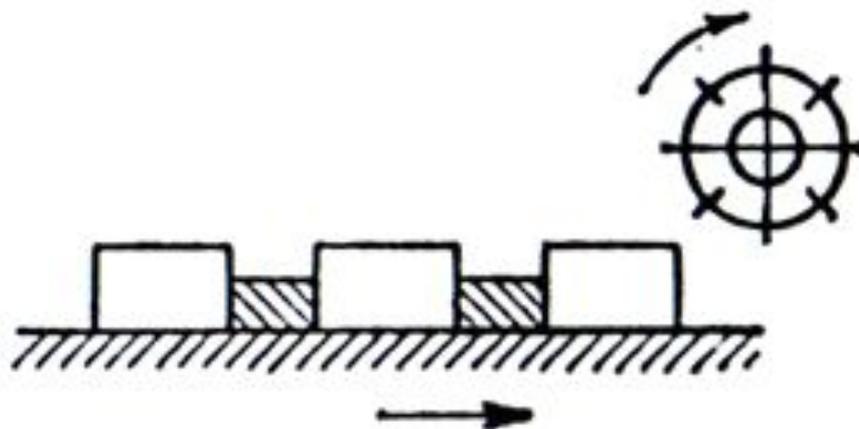
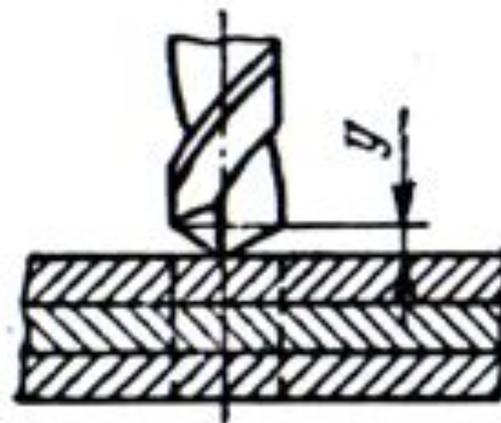
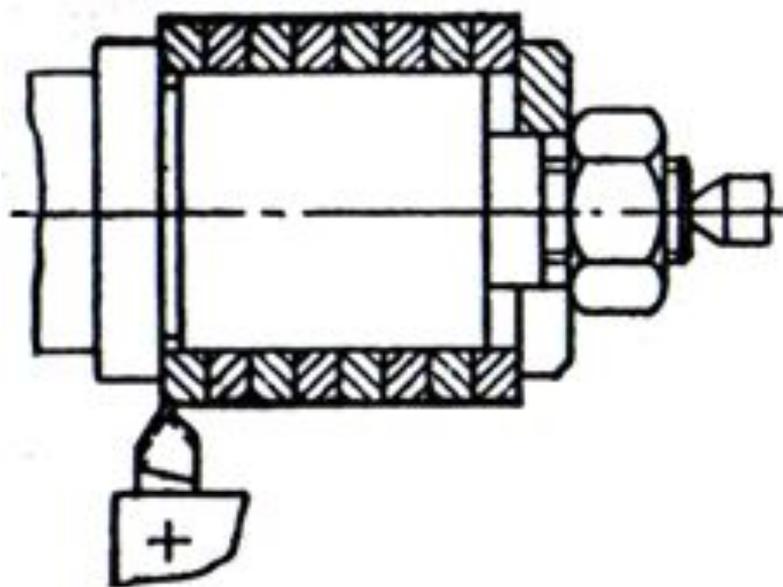
Схемы одноместной параллельной многоинструментальной обработки



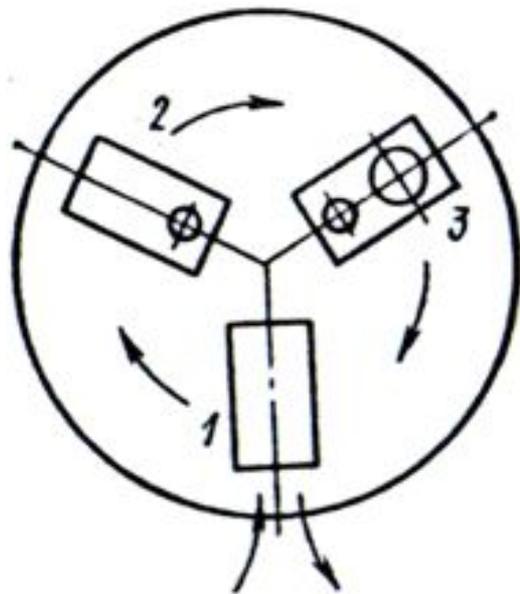
Схемы одноместной параллельно-последовательной многоинструментальной обработки



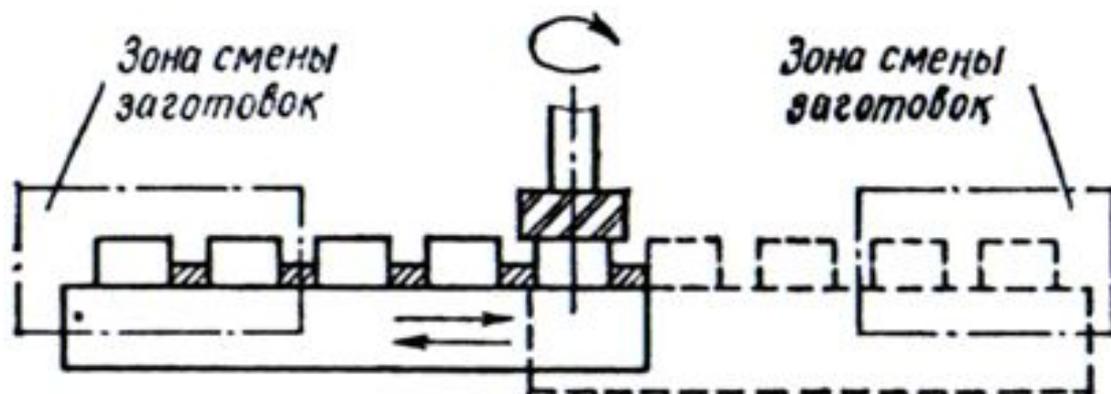
Схемы многоместной последовательной одноинструментальной обработки с одновременной установкой заготовок



Схемы многоместной последовательной одноинструментальной обработки с раздельной установкой заготовок

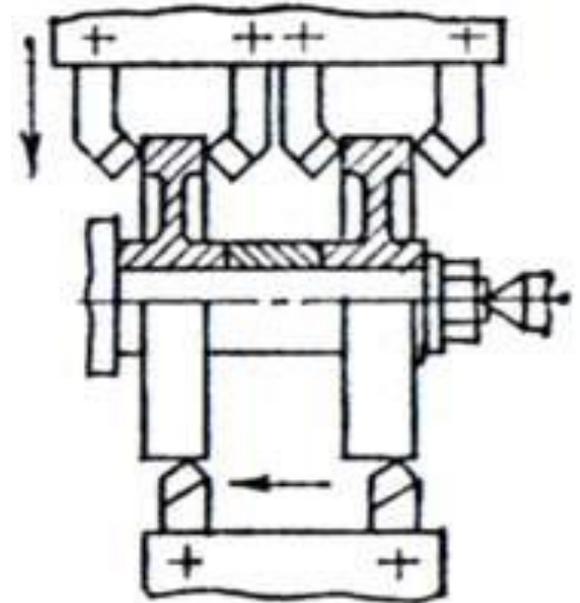
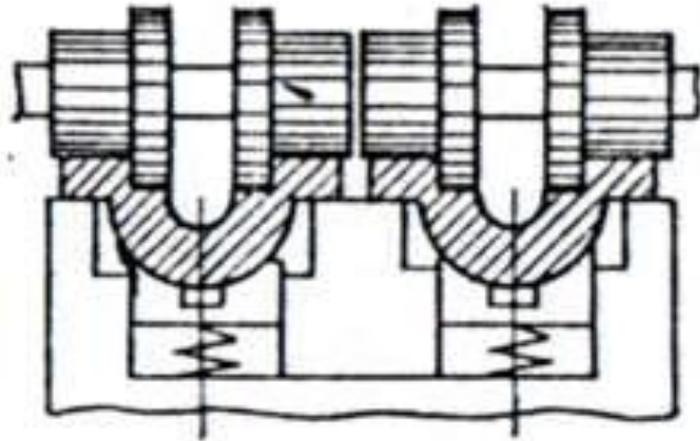
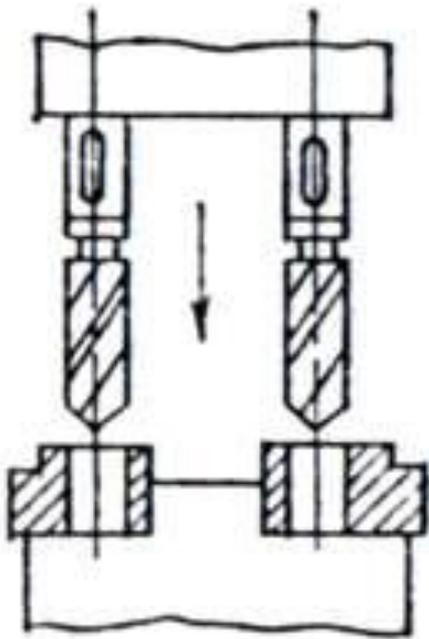


- 1 – позиция загрузки и съема заготовок;
- 2 – позиция сверления малого отверстия;
- 3 – позиция сверления большого отверстия



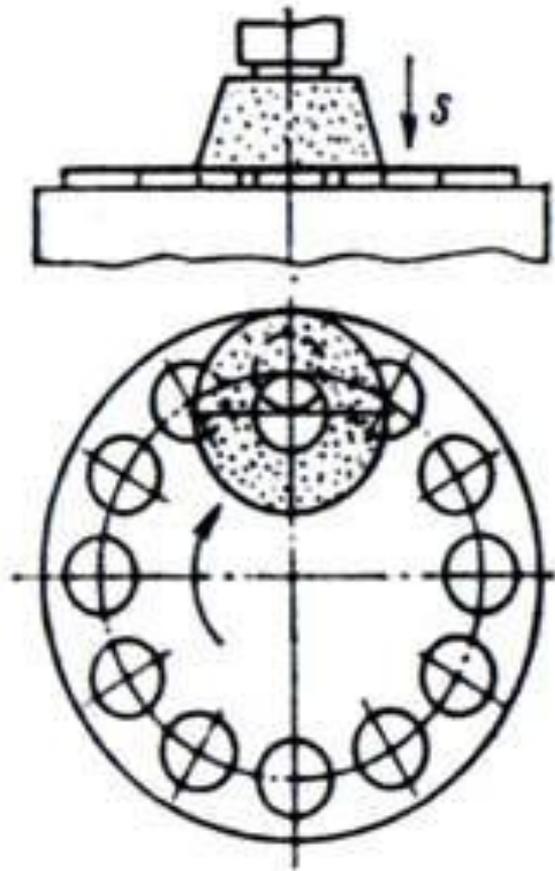
маятниковое фрезерование
(снятие обработанных и
установка новых заготовок
производится одновременно
с фрезерованием на
движущемся столе)

Схемы многоместной параллельной многоинструментальной обработки с одновременной установкой заготовок

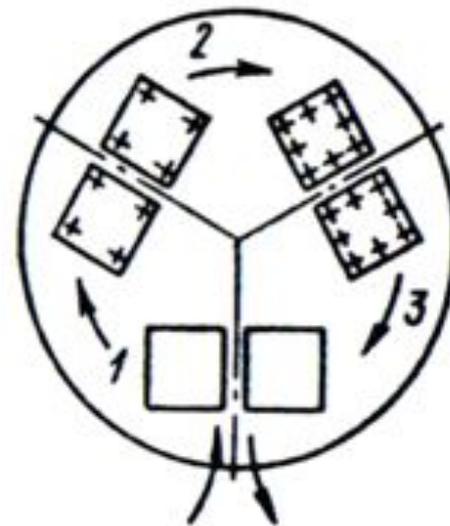
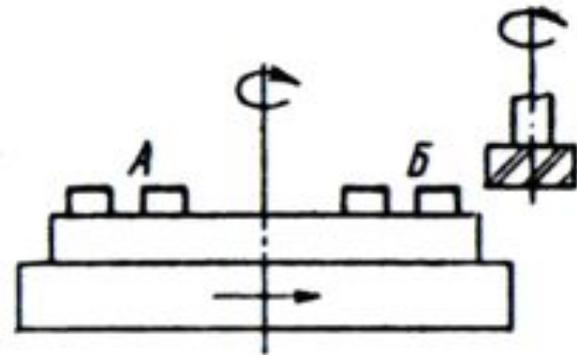


Схемы многоместной параллельно-последовательной обработки

с одновременной установкой заготовок



с раздельной установкой заготовок



1 – позиция загрузки;
2, 3 – позиции обработки заготовок

Расчет (выбор) режимов резания

Режимы резания назначают исходя из обеспечения точности и максимальной производительности при малых затратах на режущий инструмент, то есть при сохранении его стойкости.

Режимы резания зависят от:

- материала обрабатываемой заготовки;
- материала режущей части инструмента;
- характера обработки (обдирка, черновая, чистовая, отделочная).

Порядок установления элементов режима резания

- назначают глубину резания t , мм;
- выбирают подачу s_o (мм/об) или s_z (мм/зуб, при этом $s_o = s_z \cdot z$);
- определяют расчетную или принимают рекомендуемую скорость резания v , м/мин (расчетную скорость резания определяют по формулам, представленным в справочнике технолога машиностроителя под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова, т.2, гл. 4);

Порядок установления элементов режима резания (продолжение)

- рассчитывают частоту вращения шпинделя n (об/мин) по формуле $n = 1000 v / (\pi \cdot D)$ и принимают фактическую частоту вращения шпинделя n_{ϕ} в соответствии с паспортными данными станка;
- рассчитывают фактическую скорость v_{ϕ} резания по формуле $v_{\phi} = \pi \cdot D \cdot n_{\phi} / 1000$;
- рассчитывают минутную подачу $s_{\text{МИН}}$ (мм/мин) по формуле $s_{\text{МИН}} = s_o \cdot n_{\phi}$;

Порядок установления элементов режима резания (окончание)

- рассчитывают силу резания P_z , Н или крутящий момент $M_{кр}$, Н·м (формулам, представленным в справочнике технолога машиностроителя под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова, т.2, гл. 4);
- по силе резания или крутящему моменту рассчитывают эффективную мощность резания N_e , кВт, которую сравнивают с мощностью привода главного движения, указанной в паспорте станка.

Рекомендации по выбору глубины резания t , мм

При черновой обработке главной является задача обеспечения производительности обработки. Поэтому глубины резания выбирают максимальными по возможностям силовых узлов станка или державки.

При этом, если обработка поверхности (поверхностей) проводится за несколько рабочих ходов, то в расчет принимают максимальное значение припуска, удаляемого между двумя соседними рабочими ходами инструмента.

При окончательной обработке кроме производительности необходимо обеспечить точность и качество обработки. Поэтому глубину резания выбирают в зависимости от заданной точности и шероховатости с учетом удаления припуска чистовой зоны за один рабочий ход.

Рекомендуемые значения подач s_0 , мм/об

- На черновых переходах: 0,2...0,5.
- На получистовых переходах: 0,12...0,15.
- На чистовых переходах: 0,04...0,07.

Некоторые рекомендуемые значения скоростей резания v , м/мин

1. Быстрорежущий инструмент

- Сверление, зенкерование 15...20(25).
- Нарезание резьбы 5...10.
- Точение
 - черновое 20...25.
 - получистовое 25...30.
 - чистовое 40...50.

2. Инструмент, оснащенный твердым сплавом

- Точение (торцовое фрезерование)
 - черновое 80...90.
 - получистовое 100...120.
 - чистовое 130...150 (200).

Рекомендуемые значения периода стойкости инструмента T , мин (для расчета скорости резания)

- Черновая обработка 30...40.
- Получистовая обработка 45...50.
- Чистовая обработка 60...80

При одинаковых условиях обработки уменьшение периода стойкости инструмента приводит к увеличению расчетной скорости резания, и наоборот, увеличение периода стойкости инструмента приводит к уменьшению расчетной скорости резания

Проектирование схемы наладки

При проектировании схемы наладки выполняются расчеты точности настройки, определяются рабочие циклы станка, требования к взаимному расположению инструментов и уточняются режимы обработки.

Проектирование наладок в общем случае происходит следующим образом.

1. Выполняются расчеты точности настройки станка на настроечные размеры.
2. Составляется предварительный план

размещения инструментов в суппортах и инструментальных головках по отдельным переходам.

Следует помнить, что увеличение количества одновременно работающих инструментов может привести к тому, что мощность станка окажется недостаточной и тогда придется снижать режимы обработки.

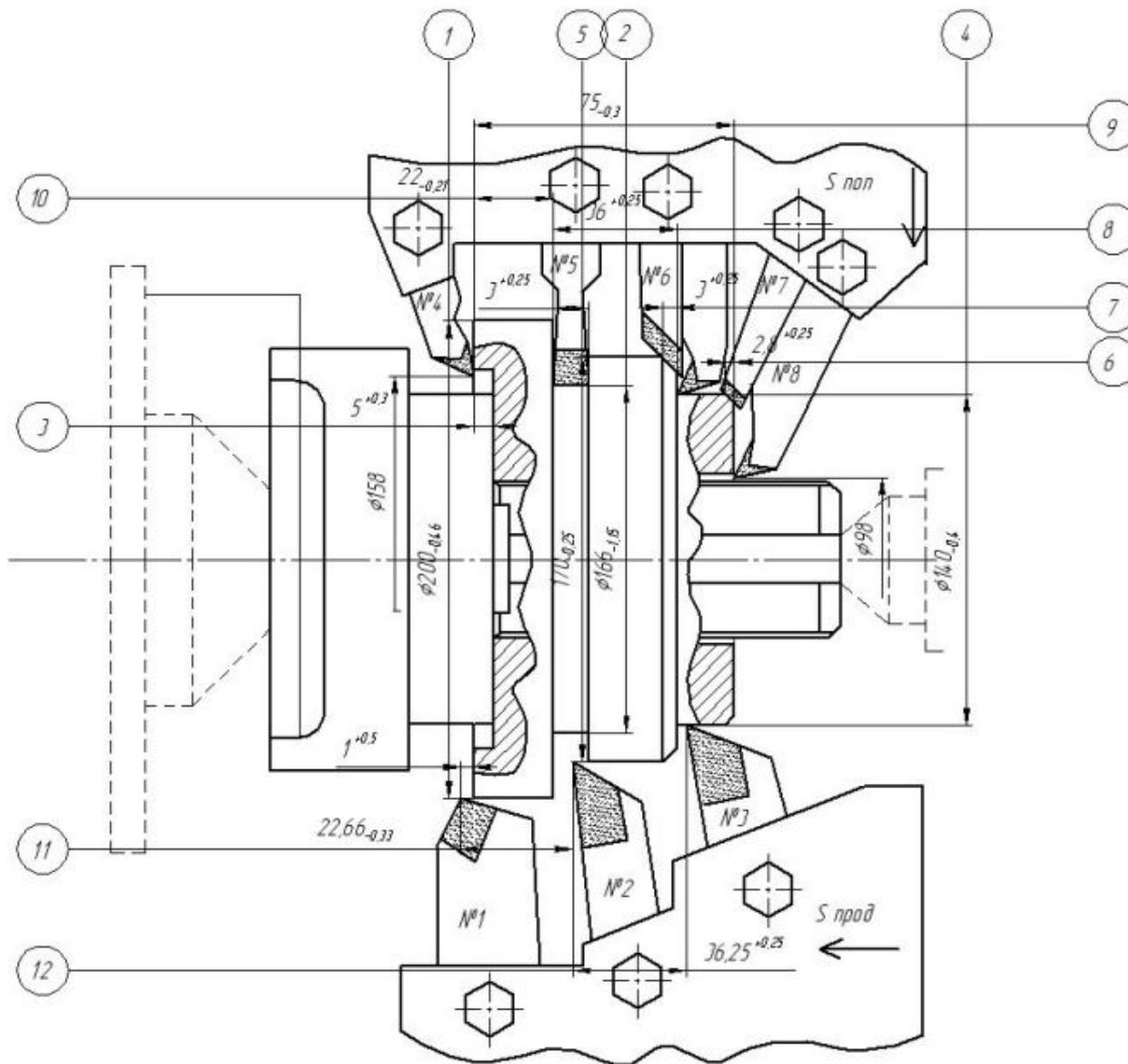
Кроме того, большое количество инструментов требует согласования времени их замены и регулировки, что еще больше снижает режимы обработки.

Поэтому следует проводить предварительное нормирование необходимой степени концентрации.

3. Производится окончательная компоновка схемы наладки.
4. Оформляется схема наладки с указанием размещения инструментов в суппорте или револьверной головке.

При оформлении схем наладок для станков автоматов, полуавтоматов, револьверных станков для каждой позиции станка указывается положение заготовки на станке и инструмент в конце рабочего хода, а также настроечные размеры.

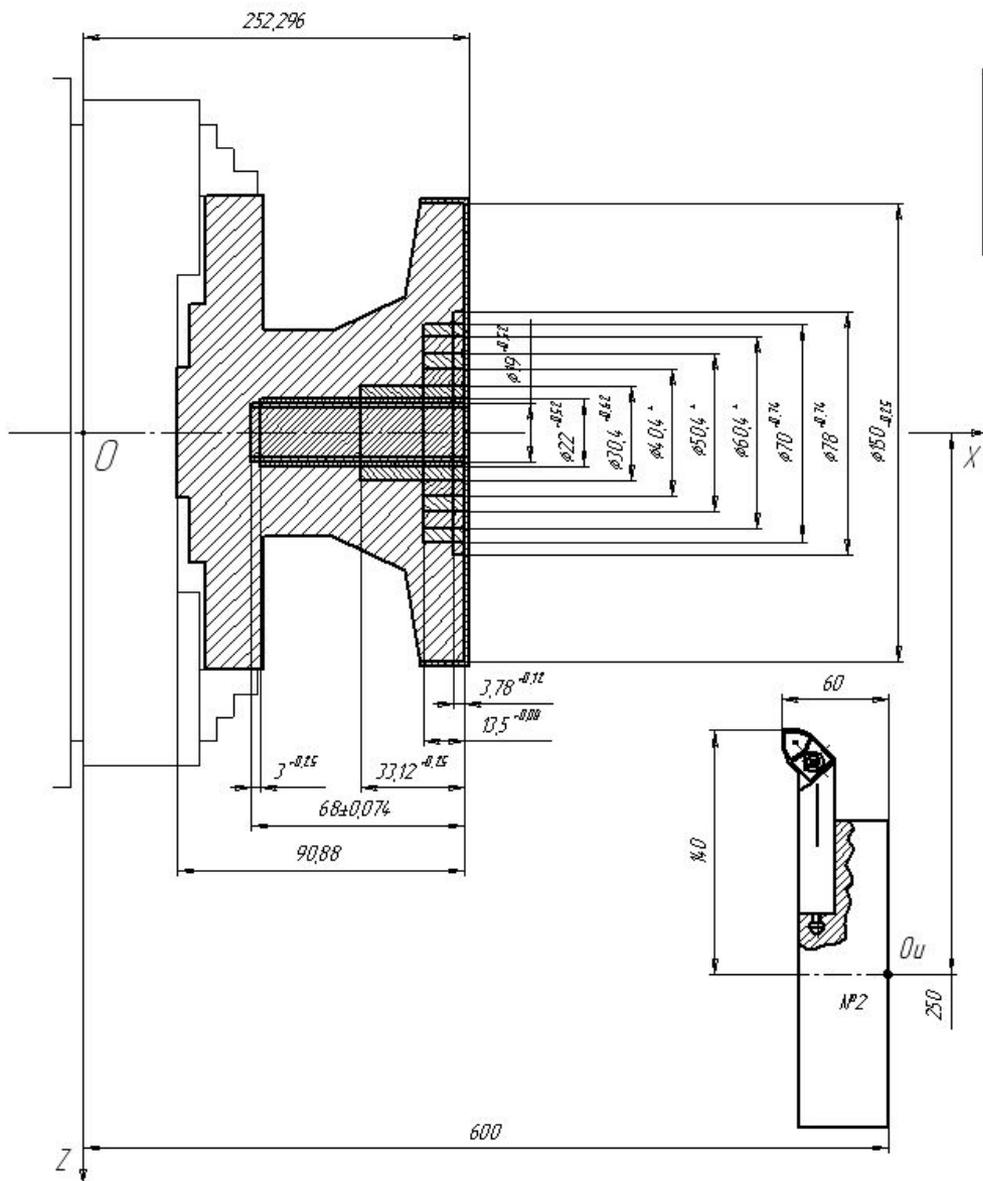
Схема наладки многорезцового полуавтомата



При оформлении схем наладок для станков с ЧПУ следует указывать:

- способ крепления заготовки;
- контуры обрабатываемых элементов и срезаемого припуска;
- расстояния от оси резцедержателя до базовой плоскости и до оси вращения шпинделя для токарных станков или координаты расположения инструмента в нулевом положении относительно осей X, Y и Z для фрезерно-сверлильных станков;
- расстановку инструмента в магазине или резцедержателе;
- вылеты инструментов от оси резцедержателя или торца шпинделя в продольном и поперечном направлениях.

Схема наладки токарного станка с ЧПУ



| №п.п. | Наименование инструмента | Z | X |
|-------|---|------|------|
| 1 | Сверло спиральное, Р6М5, ГОСТ 10903-77 | 160 | 150 |
| 2 | Резец проходной, Т15К6, ГОСТ 21151-75 | 60 | 14.0 |
| 3 | Зенкер, Т15К6 ГОСТ 3231-71, φ=90° | 160 | 150 |
| 4 | Резец расточной, Т15К6, ГОСТ 18063-72 (тип Д) | 160 | 150 |
| 5 | Резец расточной, Т15К6, ГОСТ 20874-75 | 14.0 | 150 |

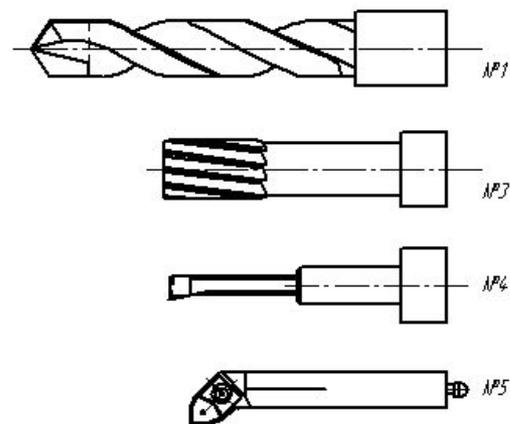
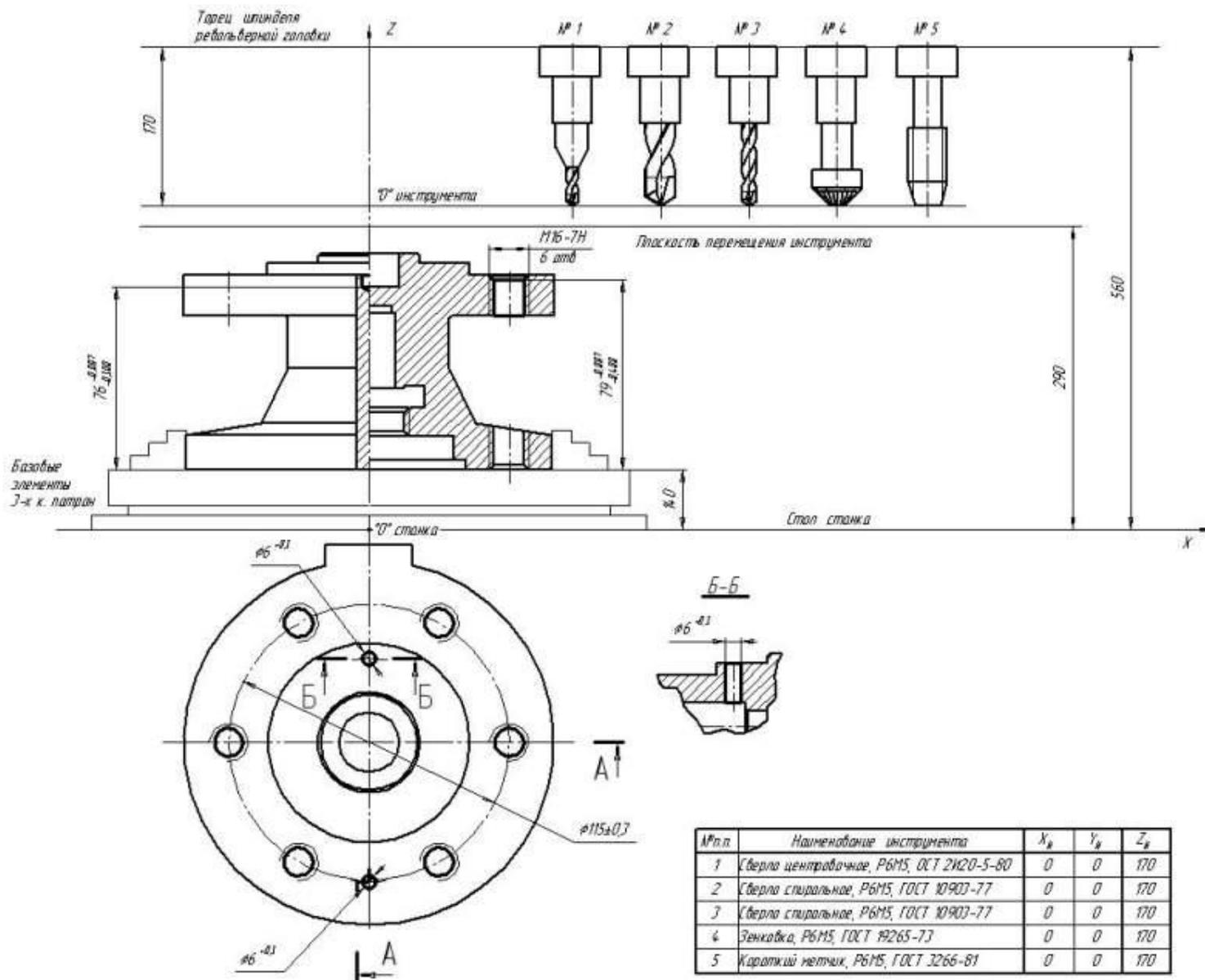


Схема наладки сверлильного станка с ЧПУ



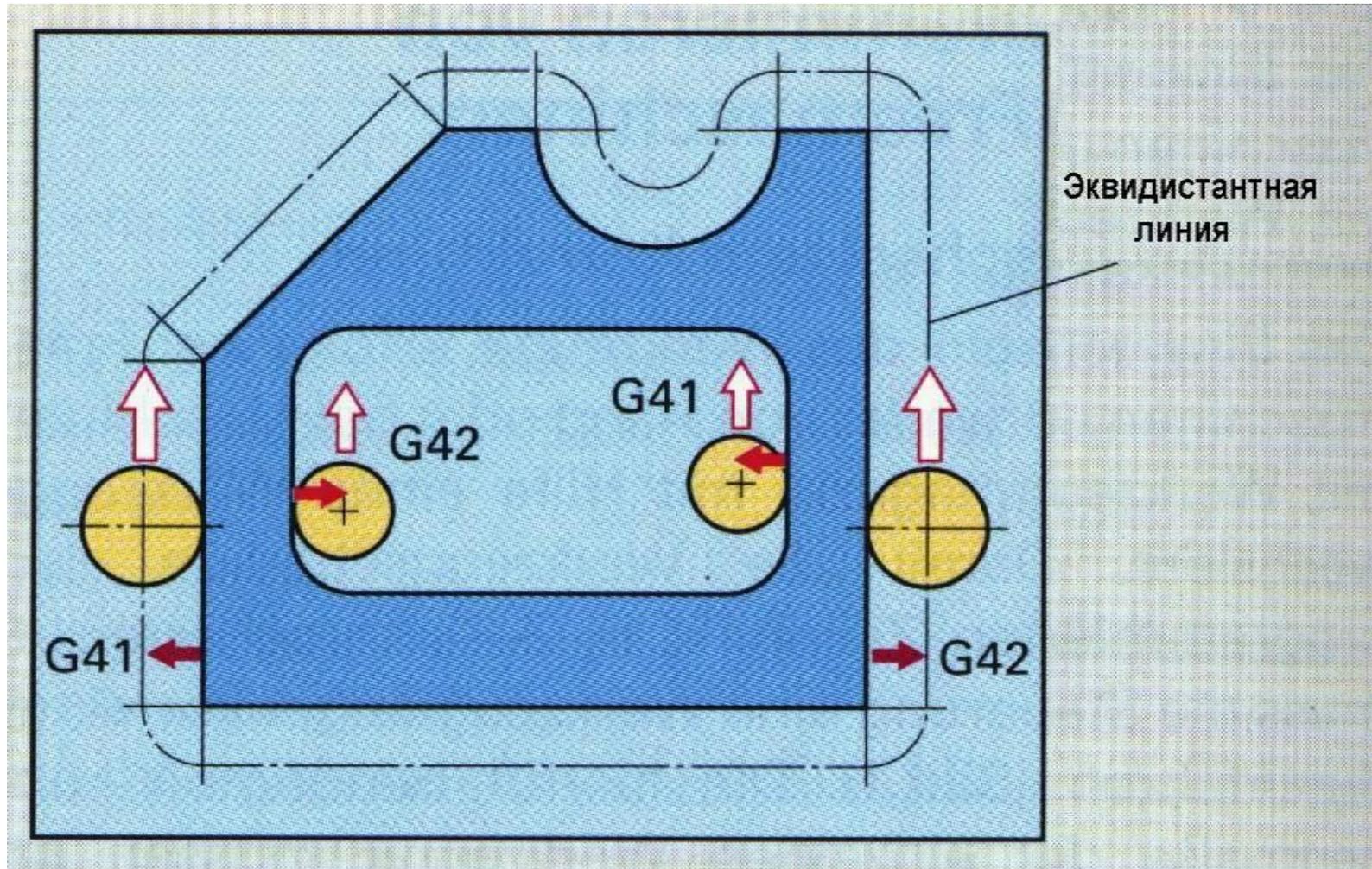
Разработка схем движения инструментов и расчетно-технологических карт

Схема движения инструмента отображает траекторию рабочих и вспомогательных перемещений инструмента при обработке элементов заготовки.

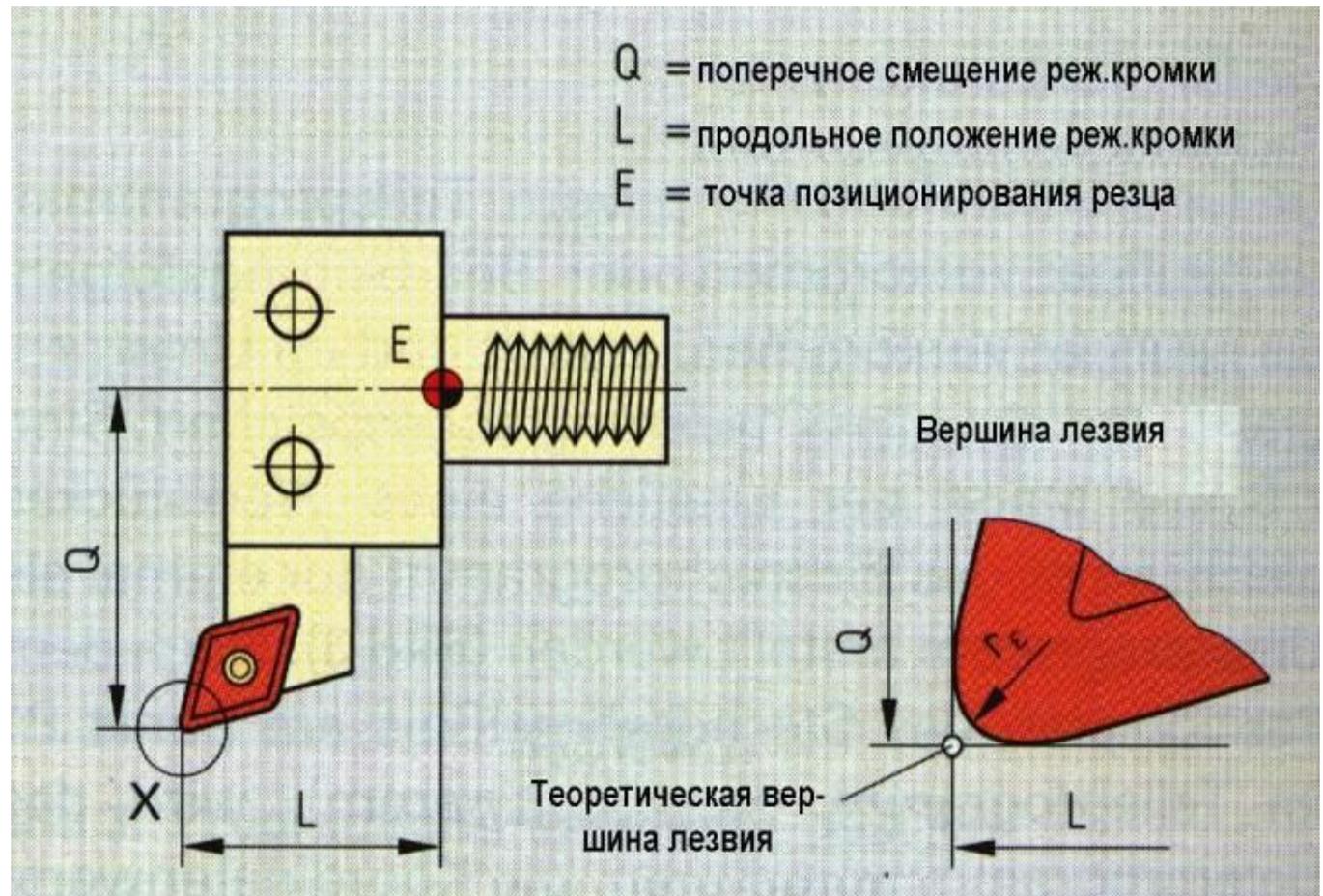
Траектория начинается в исходной – нулевой точке программы.

Для фрезерных и сверлильных станков с ЧПУ, а также многоцелевых станков, вычерчивают движение центра инструмента: сверла, фрезы, борштанги и т.п.

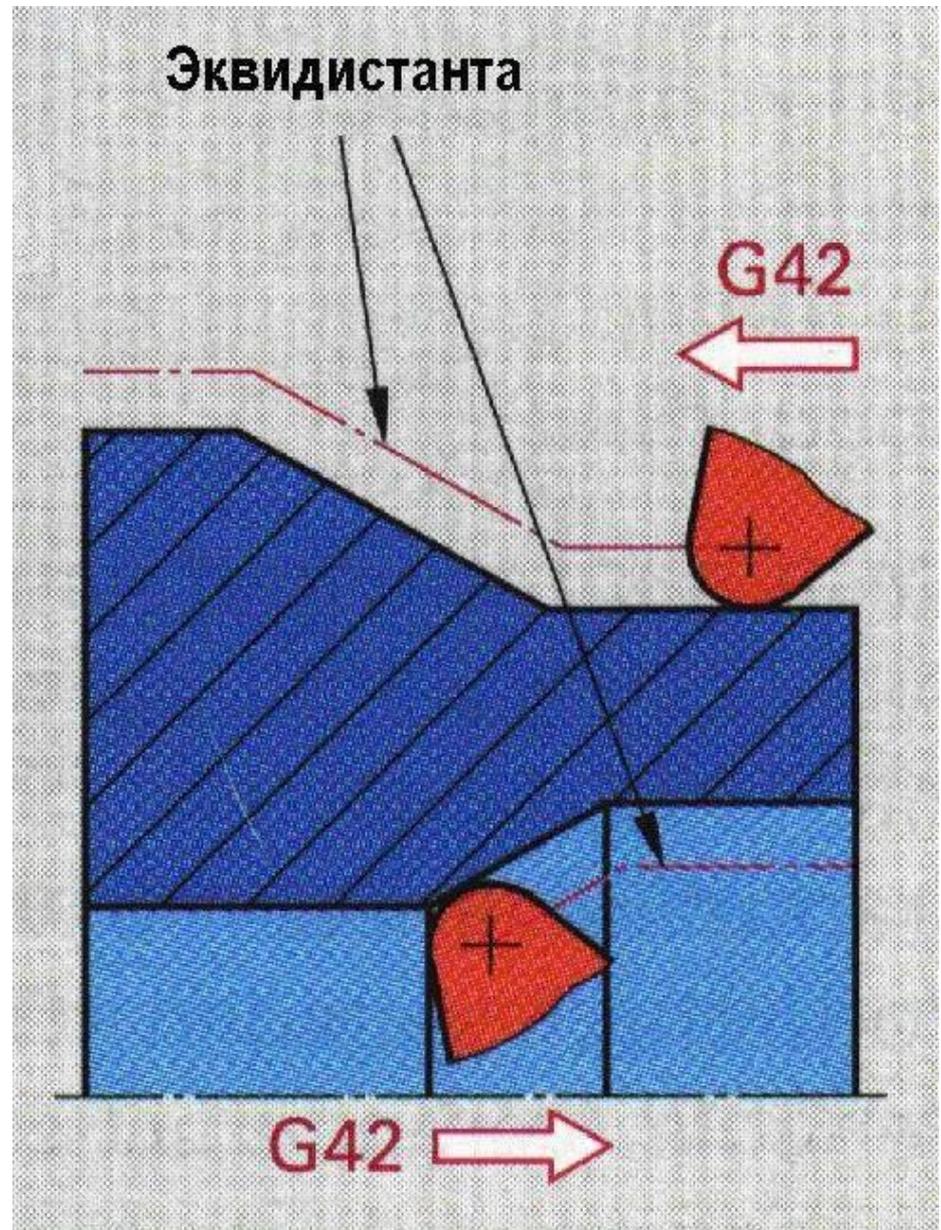
Движение центра фрезы вычерчивают с учетом ее диаметра как эквидистанту к обрабатываемому профилю.



Для токарных станков при обработке заготовок с прямоугольными образующими вычерчивают траекторию фиксированной точки, которая является точкой пересечения касательных к радиусу резца, проведенных параллельно осям координат.



При токарной обработке сферических и конических поверхностей, а также заготовок с криволинейными образующими, вычерчивают траекторию центра радиуса при вершине резца (эквидистанту).



Сплошными линиями указываются рабочие движения, а пунктирными – холостые.

Последовательно расположенные опорные точки, в которых происходит изменение направления и (или) скорости движения инструмента, обозначают арабскими цифрами.

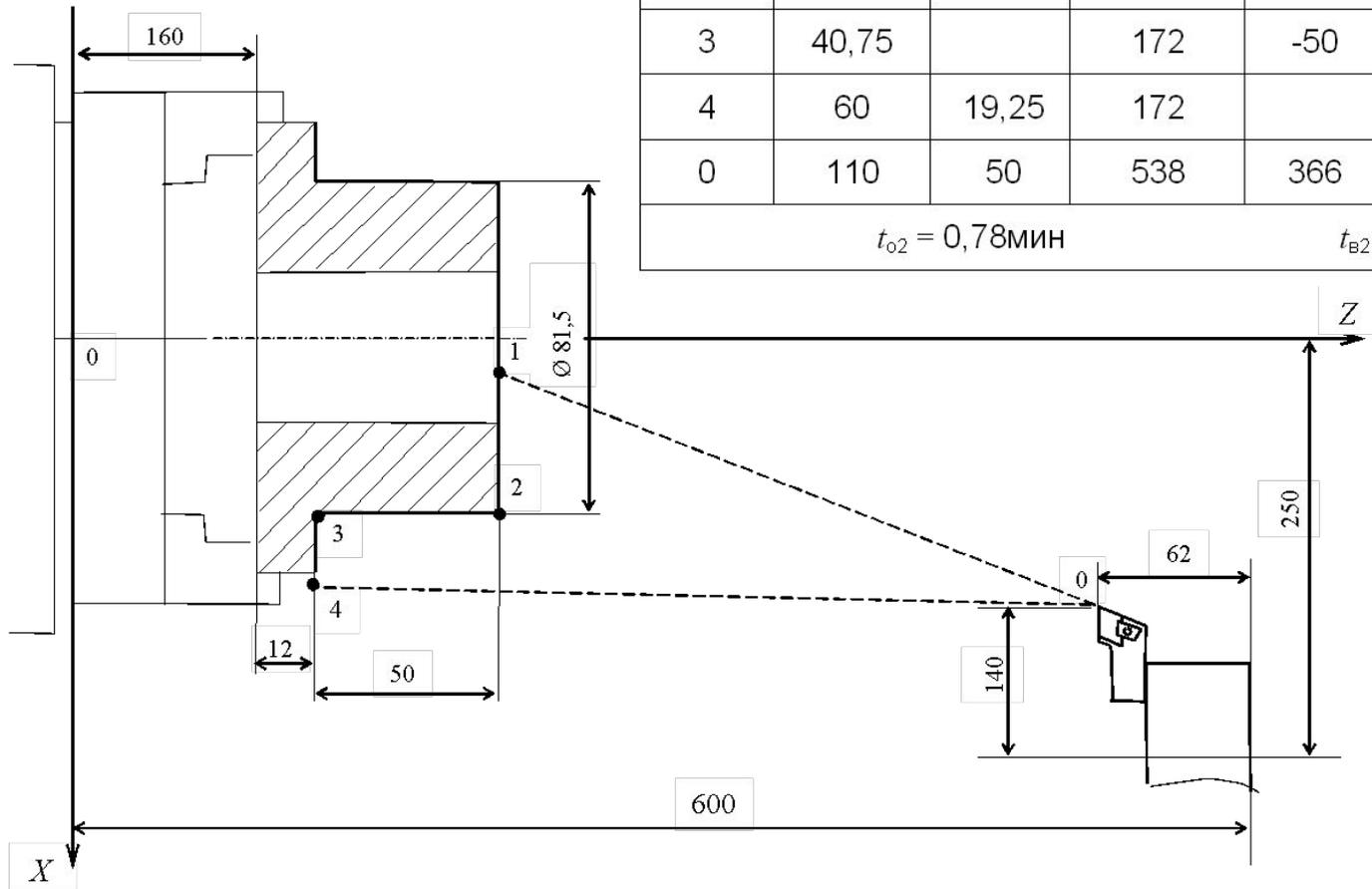
Схема движения инструмента показывается для токарных станков в координатной плоскости XOZ , а для станков фрезерно-сверлильной группы – в координатных плоскостях XOZ и XOY .

Для каждого инструмента вычерчивают схему движения и разрабатывают РТК отдельно.

Пример схемы движения и РТК токарного резца

Расчетно-технологическая карта

| Точка | X, мм | ΔX , мм | Z, мм | ΔZ , мм | Примечание |
|-------|-------|---------------------|-------|----------------------|-------------------------------|
| 0 | 110 | | 538 | | |
| 1 | 15 | -95 | 222 | -316 | X.X. $S_z = 4800$ мм/мин |
| 2 | 40,75 | 25,75 | 222 | | P.X. $S_{мин} = 122,5$ мм/мин |
| 3 | 40,75 | | 172 | -50 | P.X. $S_{мин} = 122,5$ мм/мин |
| 4 | 60 | 19,25 | 172 | | P.X. $S_{мин} = 122,5$ мм/мин |
| 0 | 110 | 50 | 538 | 366 | X.X. $S_z = 4800$ мм/мин |
| | | $t_{o2} = 0,78$ мин | | $t_{B2} = 0,162$ мин | |



Координаты всех опорных точек траекторий инструментов рассчитывают в выбранной системе координат – от начала декартовой системы координат станка или заготовки, которое было принято при разработке технологического процесса.

В расчетно-технологической карте необходимо также записывать подачу, частоту вращения, номер корректора, основное время и время холостых ходов.

Техническое нормирование операции ТП

Техническое нормирование операции ТП проводится в зависимости от ее структуры, определяемой на втором этапе проектирования операции.

В общем случае $T_{\text{ш}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} + T_{\text{тех}} + T_{\text{орг}} + T_{\text{отд}}$$

Нормирование операций разных структур связано с особенностями определения основного $T_{\text{о}}$ и вспомогательного времени $T_{\text{в}}$.

Одноместная последовательная обработка

Основное время операции T_o определяется по формуле

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_{oi},$$

где T_{oi} – основное время i -го перехода.

Вспомогательное время операции T_v определяется по формуле

$$T_v = T_{ус} + T_{уп} + T_{инд},$$

где $T_{ус}$ – время на установку и снятие заготовки;

$T_{уп}$ – время на управление станком;

$T_{инд}$ – время на индексацию (для станков с ЧПУ).

При одноместной последовательной многоинструментальной обработке (например, на станках типа «обрабатывающий центр») в состав вспомогательного времени добавляется время на смену инструмента $T_{\text{с.и.}}$, поэтому формула для расчета вспомогательного времени приобретает вид

$$T_{\text{в}} = T_{\text{ус}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{инд}} + T_{\text{с.и.}}$$

В тех случаях, когда время контрольных измерений обрабатываемой заготовки $T_{\text{изм}}$ не может быть перекрыто основным временем операции, оно добавляется к $T_{\text{в}}$.

Одноместная параллельная обработка

Основное время операции T_o определяется по формуле

$$T_o = T_{ol},$$

где T_{ol} – основное время лимитирующего перехода (т.е. наиболее продолжительного перехода).

Вспомогательное время операции T_v определяется по формуле для случая одноместной последовательной обработки

$$T_v = T_{ус} + T_{уп} + T_{инд}.$$

Многоместная параллельная многоинструментальная обработка

Основное время операции T_o определяется по формуле

$$T_o = T_{ol} / Z,$$

где Z – число одновременно обрабатываемых заготовок.

Вспомогательное время операции T_v определяется по формуле

$$T_v = (T_{yc} + T_{yn}) / Z.$$

Многоместная последовательная обработка

Основное время операции T_o определяется по формуле

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_{oi} / Z,$$

где T_{oi} – основное время обработки каждой заготовки
 Z – число последовательно обрабатываемых заготовок.

Вспомогательное время операции T_v при одновременной установке заготовок определяется по формуле для случая многоместной параллельной многоинструментальной обработки

$$T_v = (T_{yc} + T_{yn}) / Z.$$

Вспомогательное время операции $T_{\text{в}}$ для многоместной последовательной обработки при раздельной установке заготовок определяется по формуле

$$T_{\text{в}} = T_{\text{уп}}$$

или в необходимых случаях

$$T_{\text{в}} = T_{\text{уп}} + T_{\text{инд}}.$$

Основное время $T_{\text{о}}$ определяется так же, как и при одноместной обработке

Многоместная параллельно-последовательная многоинструментальная обработка с отдельной установкой заготовок

Основное время операции T_o определяется по формуле

$$T_o = T_{ol} / Z,$$

Вспомогательное время операции T_v определяется по формуле

$$T_v = (T_{уп} + T_{инд}) / Z.$$

Многоместная параллельно-последовательная многоинструментальная обработка с непрерывной установкой и сменой обрабатываемых заготовок

Обеспечивается наивысшая производительность
обработки

Основное время операции T_o определяется делением времени одного оборота стола или барабана на число установленных на нем заготовок.

Вспомогательное время операции T_B определяется по формуле $T_B = 0$.