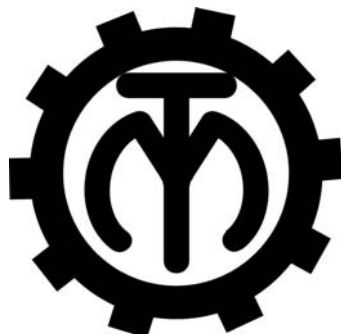


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

ТЕХНОЛОГИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов направления подготовки
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
дневной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.865.8(075.8)
ББК 34.5
Т38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «28» сентября 2023 г.,
протокол № 2

Составители: канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова;
канд. техн. наук, доц. А. В. Капитонов

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Представлены методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Технология роботизированного производства» для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» дневной формы обучения.

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. А. Подошевко
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Анализ технологичности конструкции изделия для роботизированного производства.....	5
2 Практическая работа № 2. Изучение робототехнического комплекса (РТК) механической обработки изделия и разработка циклограммы его работы.....	10
3 Практическая работа № 3. Разработка техпроцесса механической обработки изделий в условиях роботизированного производства.....	21
4 Практическая работа № 4. Разработка ТП сборки изделий в условиях роботизированного производства.....	28
Список литературы.....	37

Введение

Целью практических занятий является развитие навыков студентов в разработке и проектировании основных этапов производства изделий машиностроения, начиная с технологического контроля чертежа изделия и заканчивая построением структуры технологической операции.

На каждом практическом занятии студент получает информацию об особенностях разработки и проектирования определенного этапа, индивидуальное задание для выполнения практического задания.

Отчет по каждому занятию должен включать следующие разделы:

- цель практической работы;
- исходные данные (в соответствии со своим вариантом);
- расчеты, выполненные в последовательности и записанные в форме, определенной методическими рекомендациями, и их результаты;
- графическое отражение результатов работы;
- выводы.

1 Практическая работа № 1. Анализ технологичности конструкции изделия для роботизированного производства

Цель работы: приобретение практических навыков оценки технологичности деталей.

1.1 Сведения о способах повышения технологичности деталей

Улучшение *технологичности* конструкций деталей способствует повышению точности и производительности обработки, а также уменьшению трудоемкости при проектировании технологических процессов (ТП).

Общие требования к технологичности деталей: унификация внутренних и наружных радиусов; унификация элементов форм деталей и их размеров; создание такой конфигурации детали, которая гарантирует свободный доступ инструменту для обработки поверхностей; обеспечение возможности надежного и удобного базирования детали при обработке.

Эти требования направлены на сокращение типоразмеров применяемого режущего инструмента, замену специального инструмента стандартным, уменьшение числа переустановок детали и др. Рассмотренные требования могут быть выполнены путем видоизменения геометрической формы или отдельных элементов детали, изменения размеров, смещения отдельных элементов и т. п. Примеры повышения технологичности приведены на рисунке 1.

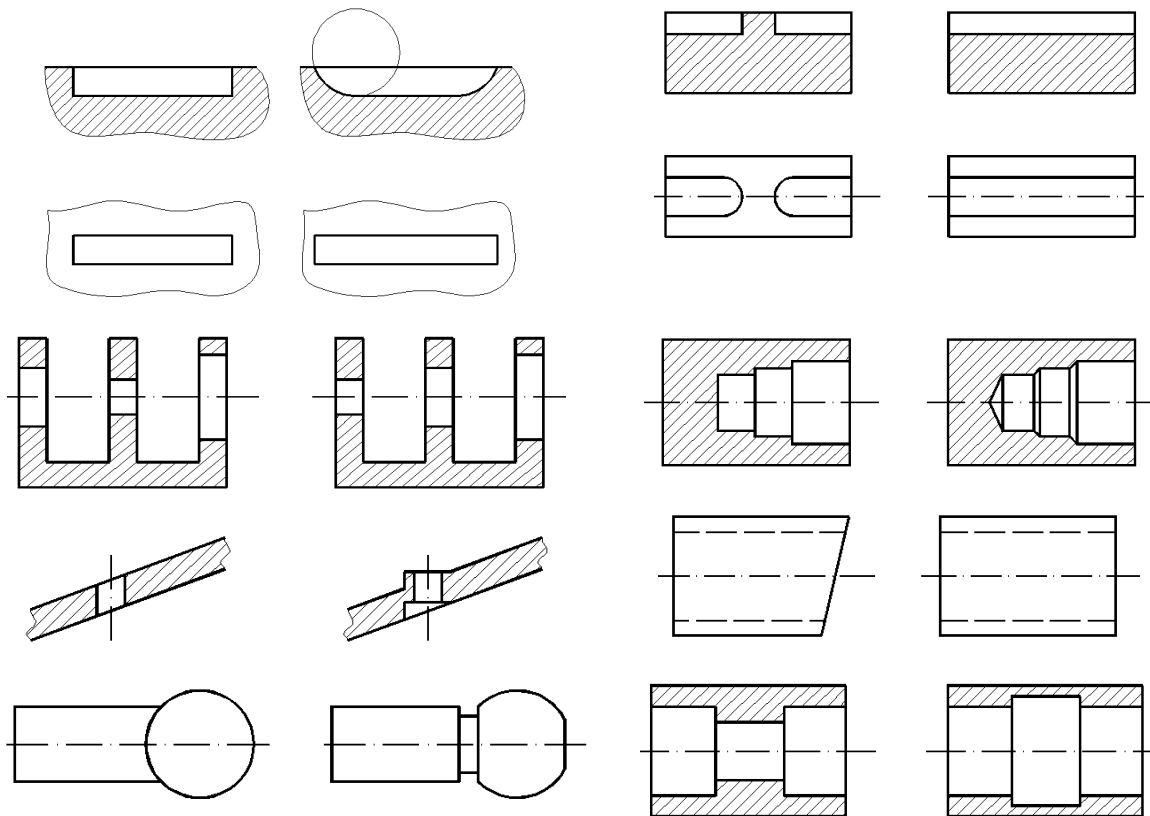


Рисунок 1 – Примеры нетехнологичного (слева) и технологичного (справа) исполнений конструкции деталей

1.2 Критерии оценки технологичности

В соответствии с ГОСТ 14.205–83 *технологичность* – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте при заданных показателях качества, объеме выпуска и условиях выполнения работ.

Производственная технологичность конструкции детали – это степень ее соответствия требованиям наиболее производительного и экономичного изготовления. Чем меньше трудоемкость и себестоимость изготовления, тем более технологичной является конструкция детали.

Оценка технологичности конструкции бывает двух видов: качественная и количественная.

Качественная оценка технологичности является предварительной, обобщенной и характеризуется показаниями: «лучше – хуже», «рекомендуется – не рекомендуется», «технологично – нетехнологично» и т. п. Технологичной при качественной оценке следует считать такую геометрическую конфигурацию детали и отдельных ее элементов, при которой учтены возможности минимального расхода материала и использования наиболее производительных и экономичных для определенного типа производства методов изготовления. В связи с этим следует проанализировать чертеж детали с точки зрения:

- степени унификации геометрических элементов (диаметров, длин, резьб, модулей, радиусов перехода и т. п.) в конструкции;
- наличия удобных базирующих поверхностей, обеспечивающих возможность совмещения и постоянства баз;
- возможности свободного подвода и вывода режущего инструмента;
- удобства контроля точностных параметров детали;
- возможности уменьшения протяженности точных поверхностей;
- соответствия формы дна отверстия форме конца стандартного инструмента для его обработки (сверла, зенкера, развертки) и т. п.

Количественная оценка технологичности выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований к технологичности. Согласно ГОСТ 14.202–73 номенклатура показателей технологичности изделия содержит четыре основных и 31 дополнительный показатель. Количественную оценку технологичности производят по суммарной трудоемкости $\sum T_{ик}$ и технологической себестоимости C_m , а также по техническим показателям, определение которых возможно из чертежа детали. К ним относятся коэффициенты точности K_T и шероховатости $K_{Ш}$:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}}; \quad (1)$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}; \quad (2)$$

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{cp}}; \quad (3)$$

$$Ra_{cp} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (4)$$

где T_i , Ra_i – квалитеты точности и значения параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей соответственно;

T_{cp} , Ra_{cp} – средние значения этих параметров;

n_i – число размеров или поверхностей для каждого квалитета и значения параметра шероховатости.

1.3 Пример выполнения отчета

1 Цель практической работы.

2 Чертеж детали (рисунок 2).

3 Расчет количественных показателей технологичности.

Рассчитаем коэффициент точности K_T , для чего сведения о точности поверхностей сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Точность размеров

Квалитет T_i	6	8	11	12	14
Количество размеров n_i	4	2	1	1	44

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot 4 + 8 \cdot 2 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 14 \cdot 44}{4 + 2 + 1 + 1 + 44} = \frac{679}{52} = 13;$$

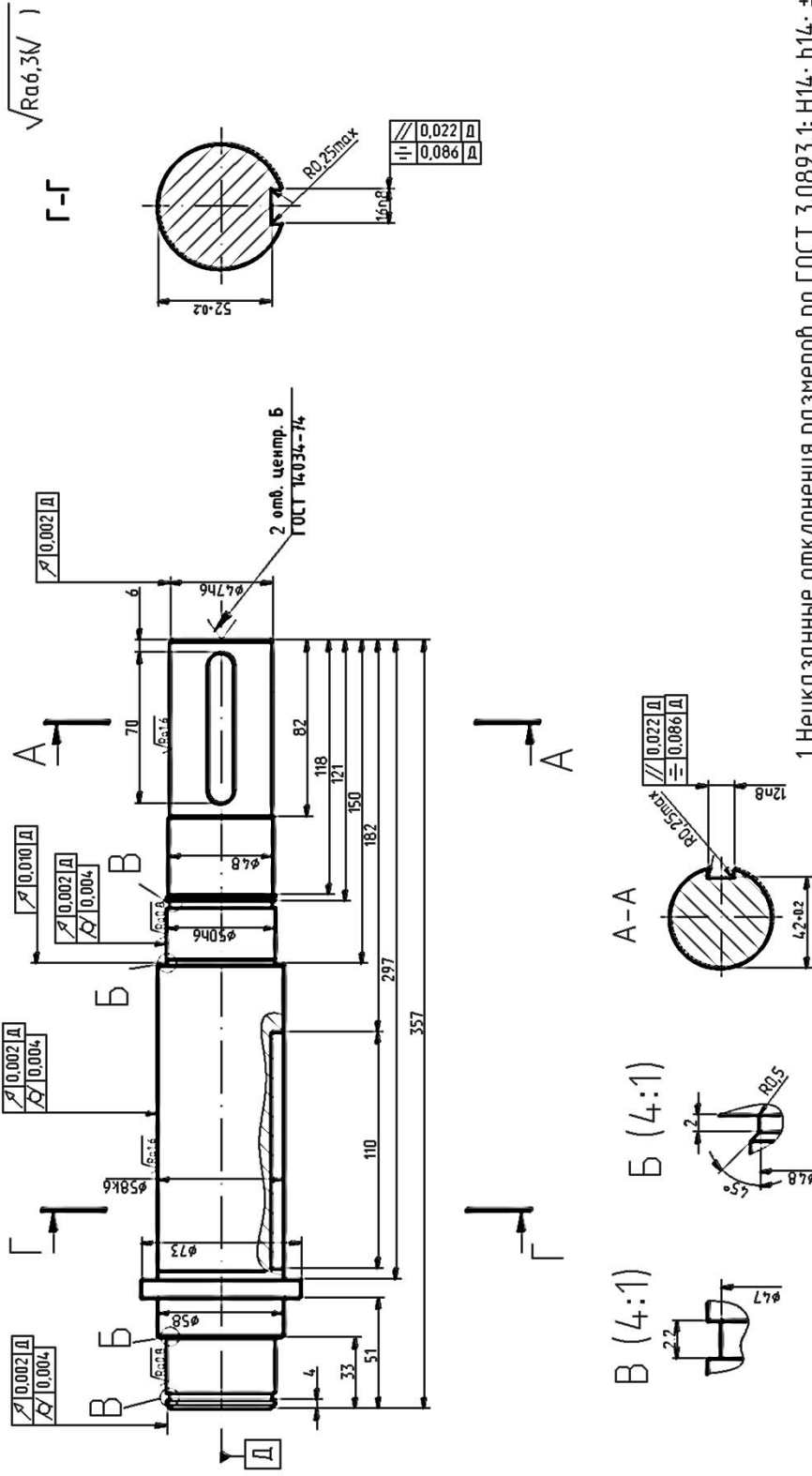
$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 + \frac{1}{13} = 0,92.$$

Так как $K_T = 0,92 > 0,8$, то по критерию точности деталь является относительно технологичной.

Рассчитаем коэффициент шероховатости $K_{ш}$, для чего сведения о шероховатости поверхностей сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Шероховатость поверхностей

Шероховатость Ra	0,8	1,6	6,3
Количество поверхностей n_i	2	2	40



- 1 Неуказанные отклонения размеров по ГОСТ 3.0893.1: Н14; h14; ± $\frac{IT_{14}}{2}$
- 2 230...260 HB
- 3 Остальные требования по СТБ 1014-95

Сталь 40Х ГОСТ 4543-71

Рисунок 2 – Чертеж вала

$$Ra_{cp} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{0,8 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2 + 6,3 \cdot 40}{44} = \frac{256,8}{44} = 5,83;$$

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{cp}} = \frac{1}{5,83} = 0,17.$$

Так как $K_{ш} = 0,17 < 0,2$, то по критерию шероховатости деталь является относительно технологичной.

4 Рекомендации по повышению технологичности.

Для повышения технологичности детали необходимо:

– разместить шпоночные пазы на одной стороне вала (в «линию»). При фрезеровании шпоночных пазов отсутствует переустановка заготовки, что сокращает время на выполнение вспомогательных переходов;

– ширину канавки под стопорное кольцо 2,2 мм и ширину канавки под выход шлифовального круга 2 мм целесообразно выполнить одной ширины – 2,2 мм. В таком случае обработку канавок можно проводить одним канавочным резцом шириной 2,2 мм за один переход – сокращаются затраты времени на обработку детали.

5 Выполняем чертеж детали с учетом мероприятий по повышению технологичности (рисунок 3).

6 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Производственная технологичность конструкции изделия.
- 2 Эксплуатационная технологичность конструкции изделия.
- 3 Ремонтная технологичность конструкции изделия.
- 4 Технологичность конструкции изделия в сборке.
- 5 Технологический анализ конструкции изделия (количественный и качественный).
- 6 Уровень технологичности конструкции изделия.
- 7 Отработка конструкции изделия на технологичность.

2 Практическая работа № 2. Изучение робототехнического комплекса (РТК) механической обработки изделия и разработка циклограммы его работы

Цель работы: приобретение навыков разработки компоновки РТК и разработки циклограммы его работы.

2.1 Проектирование операции

Выбор станка.

При выполнении практического задания подробно разрабатывается РТК для одной или двух операций. Для их выполнения выбирается станок. Тип станка определяется характером операции (токарный, сверлильный, фрезерный и т. п.). Модель токарного станка выбирается по диаметру и длине обрабатываемой заготовки, модель сверлильного станка – по диаметру сверла и размеру стола.

Выполняется анализ формы и размеров рабочей зоны, её открытость. Под открытостью рабочей зоны понимается возможность доступа в неё рабочих органов манипулятора сверху, спереди или сбоку. Открытость рабочей зоны определяет тип промышленного робота.

Выбор системы координат детали и инструмента.

Координатная система детали строится на её технологических базах.

На токарных операциях начало координат (нуль детали) размещают на одном из торцов детали, ось Z направляют по её оси, а ось X – перпендикулярно оси Z (рисунки 3 и 4, б).

На сверлильных операциях начало координат размещают на верхней плоскости детали (рисунок 4, а, в). Такое расположение нуля детали упрощает программирование обработки.

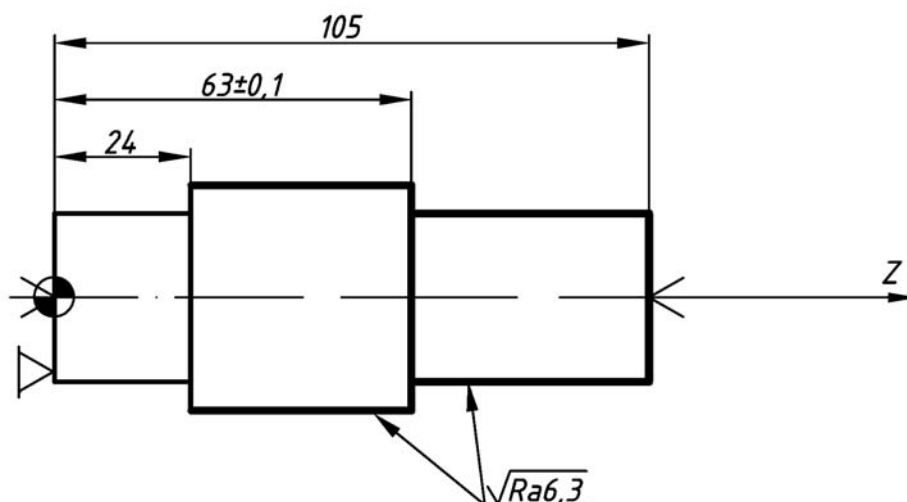


Рисунок 3 – Система координат вала

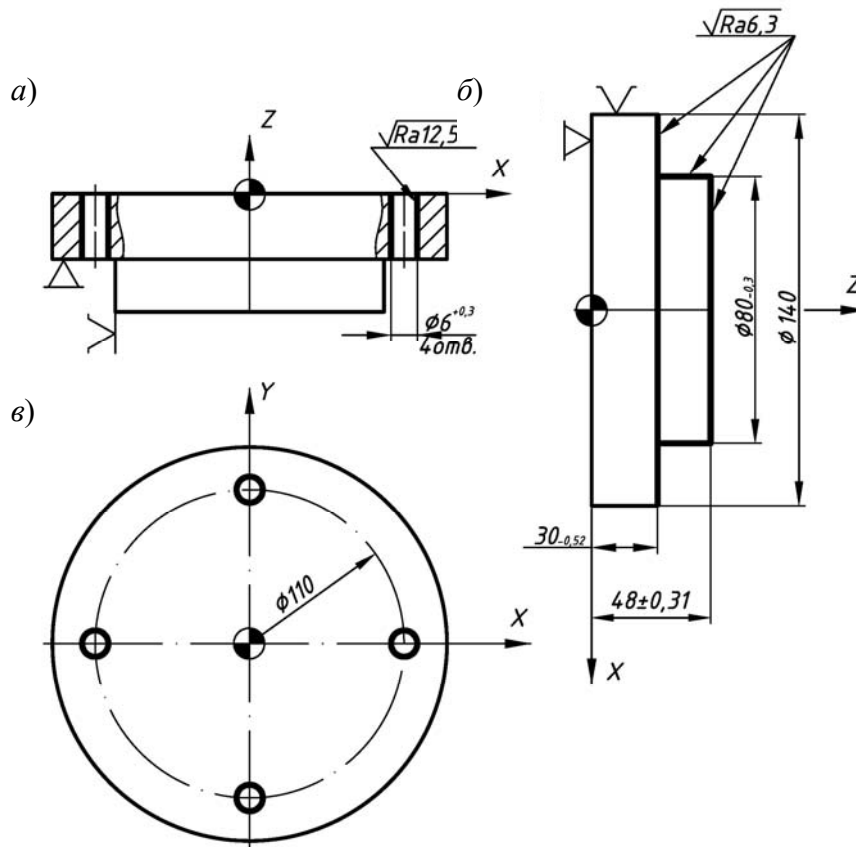


Рисунок 4 – Система координат диска

При обработке деталей на токарных станках начало системы координат инструмента (нуль инструмента) выбирается таким образом, чтобы инструмент не препятствовал установке и снятию детали, а деталь не препятствовала повороту револьверной головки (см. рисунок 5).

При обработке деталей на сверлильных станках начало системы координат выбирают на торце шпинделя, а расстояние от торца шпинделя до детали определяют по наиболее длинному инструменту, установленному в револьверной головке.

Расчёт режимов резания и времени выполнения операции.

Для расчёта режимов резания выписываются все технологические переходы проектируемой операции.

Для каждого перехода (режущего инструмента) вычерчивается схема обработки (рисунок 5) с обозначением траектории перемещения режущего инструмента и опорных точек, составляется таблица координат опорных точек.

Для вычисления суммарного времени выполнения рабочих и холостых ходов составляется таблица 3. При этом величины рабочих и холостых ходов рассчитываются как разности координат соответствующих опорных точек.

Выбор промышленного робота.

В роботизированных технологических комплексах механической обработки, как правило, используются промышленные роботы двух типов: напольные и

портальные.

Напольные работы с выдвижной рукой применяют для обслуживания станков с открытой рабочей зоной спереди: токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных и т. п.

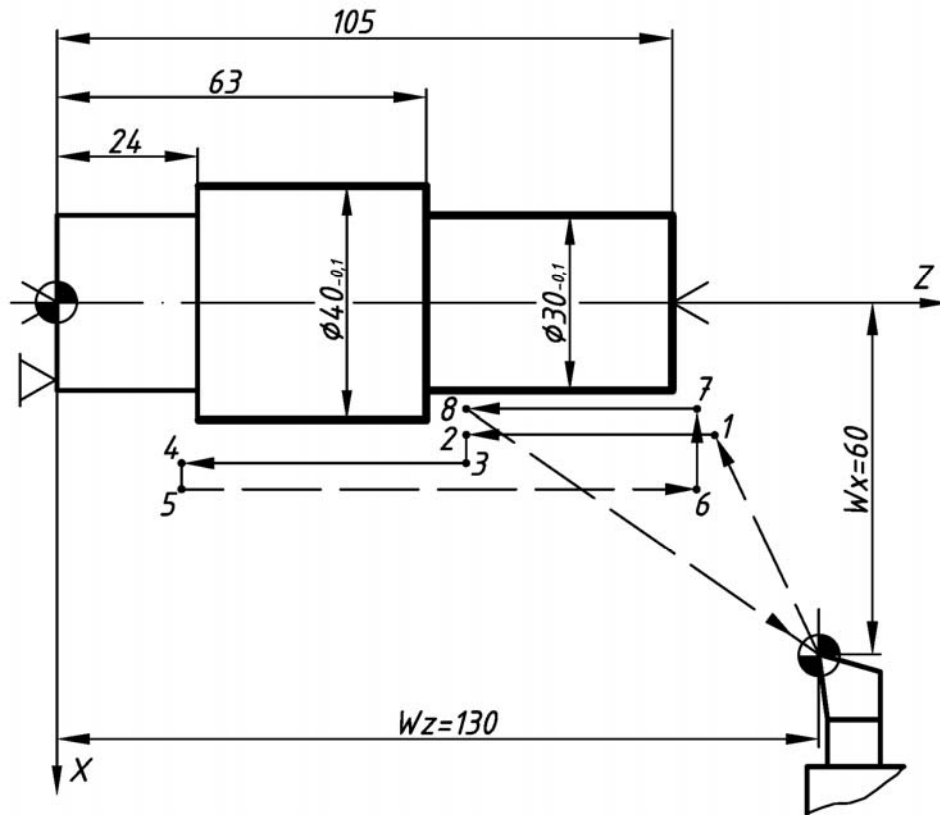


Рисунок 5 – Схема обработки вала

Таблица 3 – Время выполнения рабочих и холостых ходов при обработке вала

Точка начала и конца перемещения	Длина рабочего хода $L_{р.х.}$, мм	Минутная подача S_M , мм/мин	Длина холостого хода $L_{х.х.}$, мм	Скорость быстрого перемещения $V_{х.х.}$, мм/мин	Время, мин

Портальные роботы применяют для обслуживания станков с открытой рабочей зоной сверху: токарных, шлифовальных и т. п.

После определения типа робота выбирают его технические характеристики по каталогам роботов [5].

Грузоподъёмность. Номинальная грузоподъёмность робота должна превышать массу заготовки не менее чем на 10 %.

Система координат и число степеней подвижности. Для обслуживания металлорежущих станков обычно применяются напольные роботы с цилиндрической системой координат или портальные роботы с прямоугольной (пространственной или плоской) или цилиндрической системой координат. Оптимальным числом степеней подвижности для роботов, обслуживающих

станки, является 3–5.

Наибольший вылет руки R . Наибольший вылет руки робота должен обеспечивать доставку заготовки в рабочую зону станка: на линию центров или стол станка. Он должен быть больше, чем расстояние от оси поворота робота до рабочей зоны станка.

Наименьший вылет руки. При наименьшем вылете руки робот должен иметь возможность совершать все движения с закреплённой заготовкой.

Высота робота H . Высота робота H должна быть больше, чем высота центров у токарных и шлифовальных станков или высота стола у сверлильных или фрезерных станков от пола. Перемещение манипулятора по высоте (по оси Z) должно быть больше, чем расстояние от рабочей плоскости тактового стола (конвейера) до линии центров станка.

Погрешность позиционирования. Погрешность позиционирования определяет точность установки детали в центра, патрон, приспособление. Поэтому не рекомендуется выбирать роботов с погрешностью позиционирования более ± 2 мм для обслуживания токарных станков и с погрешностью более ± 1 мм для сверлильных и фрезерных.

Роботов с небольшой высотой устанавливают на специальные подставки или фундаменты.

Выбор вспомогательного оборудования.

В состав роботизированного технологического комплекса, кроме станка и робота, входят различные вспомогательные устройства, обеспечивающие его нормальное функционирование. К ним относятся ориентирующие устройства, транспортно-накопительные, устройства поштучной выдачи заготовок и др.

Рекомендуется при выполнении практического задания выбирать в качестве транспортного средства тактовый стол или шаговый конвейер, которые обеспечивают межоперационное транспортирование и подачу заготовок в ориентированном виде в рабочую зону робота. Конкретная модель стола выбирается по габаритным размерам и массе транспортируемых заготовок.

Вместе с этим разрабатывается конструкция приспособления, которое закрепляется на пластинах стола и служит для перемещения заготовок в ориентированном виде. Приспособление должно обеспечивать устойчивое положение заготовок и свободный доступ схвата робота к поверхностям, выбранным для закрепления. Некоторые типовые конструкции таких приспособлений представлены на рисунке 6.

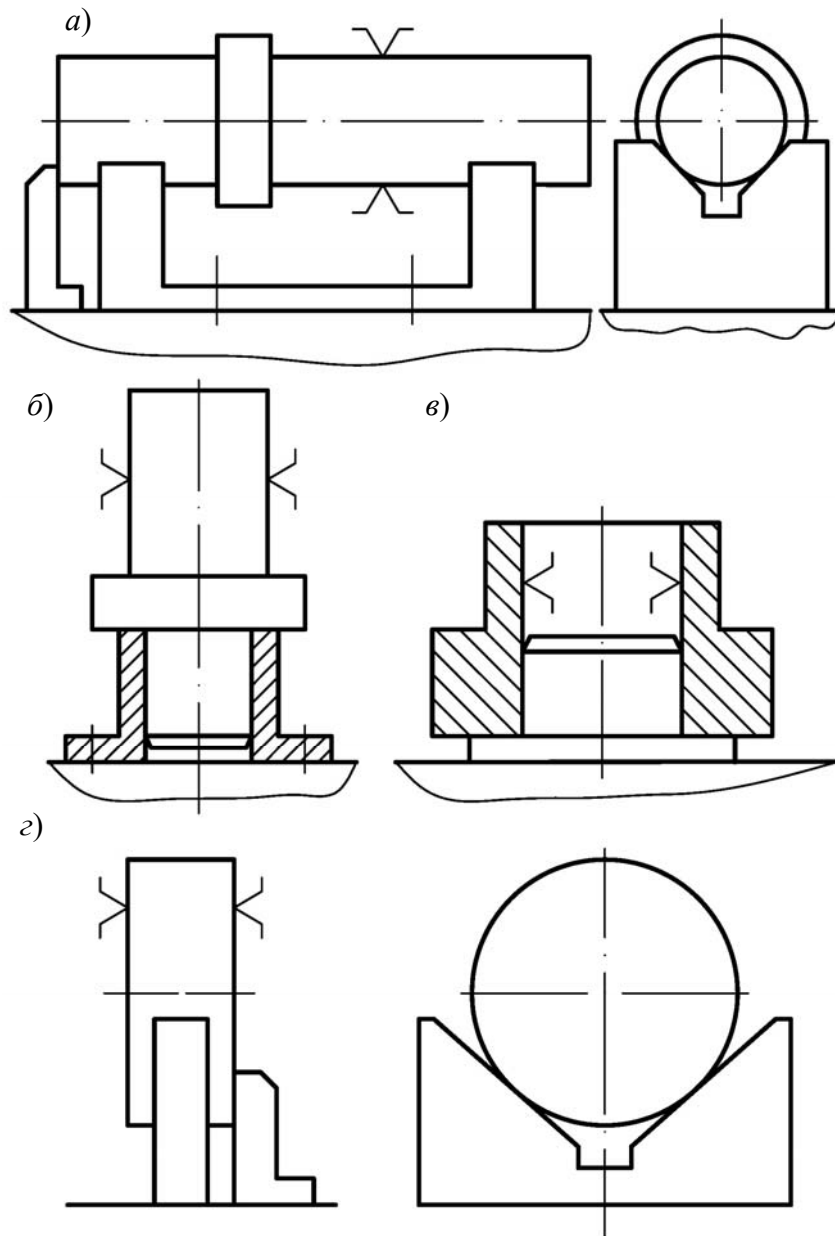


Рисунок 6 – Способы установки деталей на тактовых столах

2.2 Выбор компоновки РТК

Роботизированные технологические комплексы, применяемые в металлообработке, могут иметь линейную или круговую компоновку.

Наиболее предпочтительной является круговая компоновка. При круговой компоновке станки располагают вокруг робота. Роботы, обслуживающие такие комплексы, работают в цилиндрической или сферической системе координат.

Робот и станок размещаются таким образом, чтобы рабочая зона станка находилась в зоне обслуживания робота, размеры которой определяются минимальным и максимальным вылетом руки.

Роботизированные технологические комплексы могут иметь совмещённые или отдельные вход и выход.

При совмещённом входе и выходе устанавливают один тактовый стол,

который обеспечивает подачу заготовок в РТК и приём обработанных деталей.

При раздельном входе и выходе устанавливаются два тактовых стола. Один из них обеспечивает подачу заготовок в РТК, а второй – приём обработанных деталей.

Типовые компоновки РТК представлены на рисунках 7–9.

2.3 Построение и расчет элементов траектории захватного устройства промышленного робота (ПР)

Построение траектории удобно выполнять графическим изображением пути перемещения геометрического центра захватного устройства ПР. Начало траектории связано с нулевой (исходной) точкой, определяемой в соответствии с исходным положением ПР (рисунок 10).

На схемах штриховыми линиями указаны элементы траектории перемещения захватного устройства без заготовки, сплошными – с заготовкой.

По каталогам в зависимости от модели робота выбирают допустимые скорости перемещения манипулятора по осям.

2.4 Построение циклограммы РТК

Циклограмма функционирования РТК включает в выбранной последовательности все переходы (действия), выполняемые основным и вспомогательным оборудованием, а также ПР, необходимые для обработки заготовки.

Циклограмму строят для:

- быстрого определения рабочего цикла T_p ;
- определения значения цикловой производительности Q_u ;
- установления возможности сокращения T_p за счет совмещения времени

выполнения отдельных переходов и сокращения длительности несовмещенных переходов и т. д.

Прежде чем приступить к построению циклограммы, необходимо:

- определить все движения (переходы), выполняемые ПР, основным и вспомогательным оборудованием;
- установить последовательность выполнения всех движений;
- определить время выполнения каждого движения.

При построении циклограммы в вертикальной колонке построчно перечисляются оборудование РТК и характер совершаемых им движений, по горизонтали в выбранном масштабе откладывается время выполнения каждого движения.

На циклограмме следует указать длительность рабочего цикла.

На рисунке 11 в качестве примера представлена циклограмма РТК.

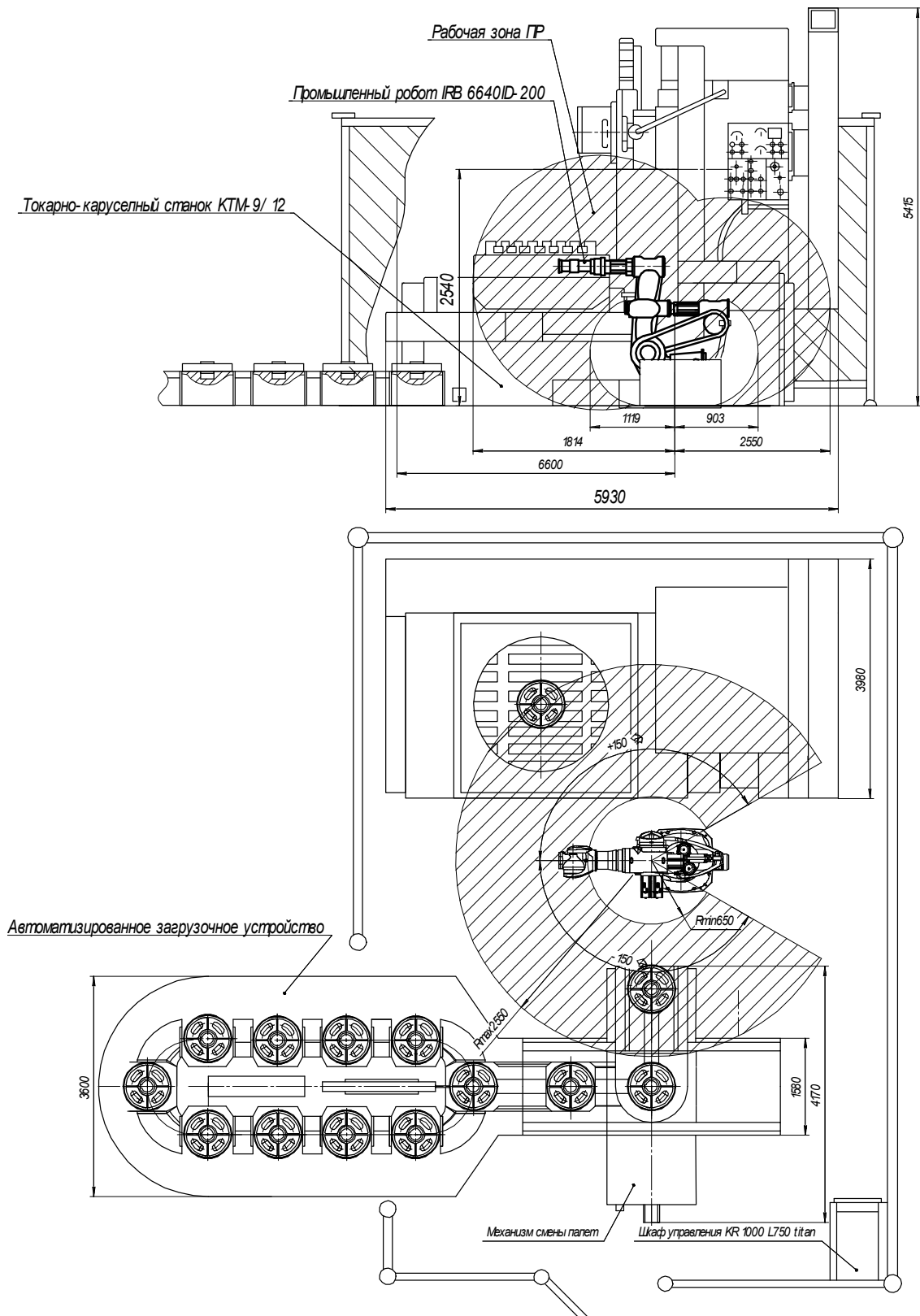


Рисунок 7 – Компонировка РТК для тяжелых деталей

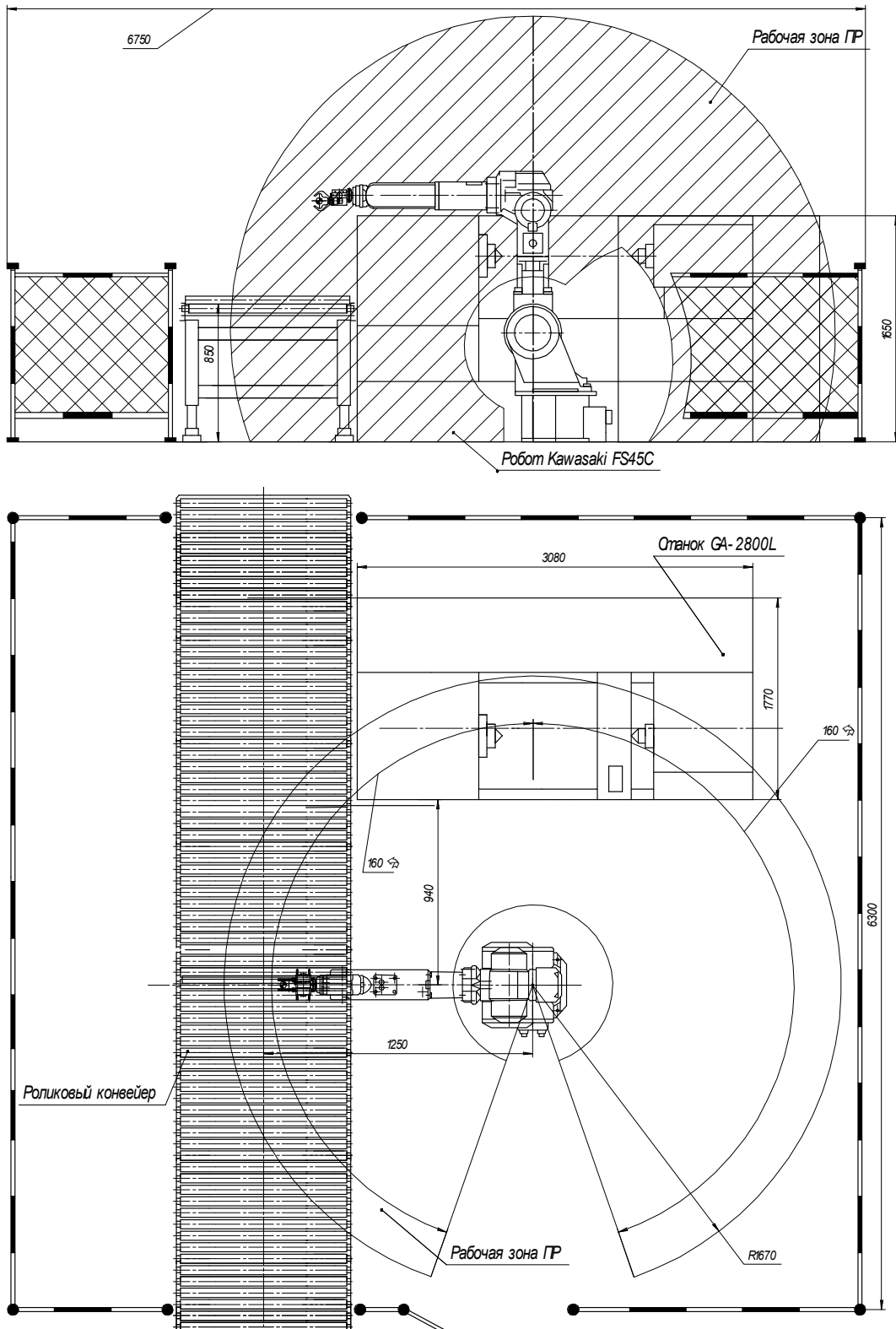


Рисунок 8 – Компонировка РТК для длинномерных деталей

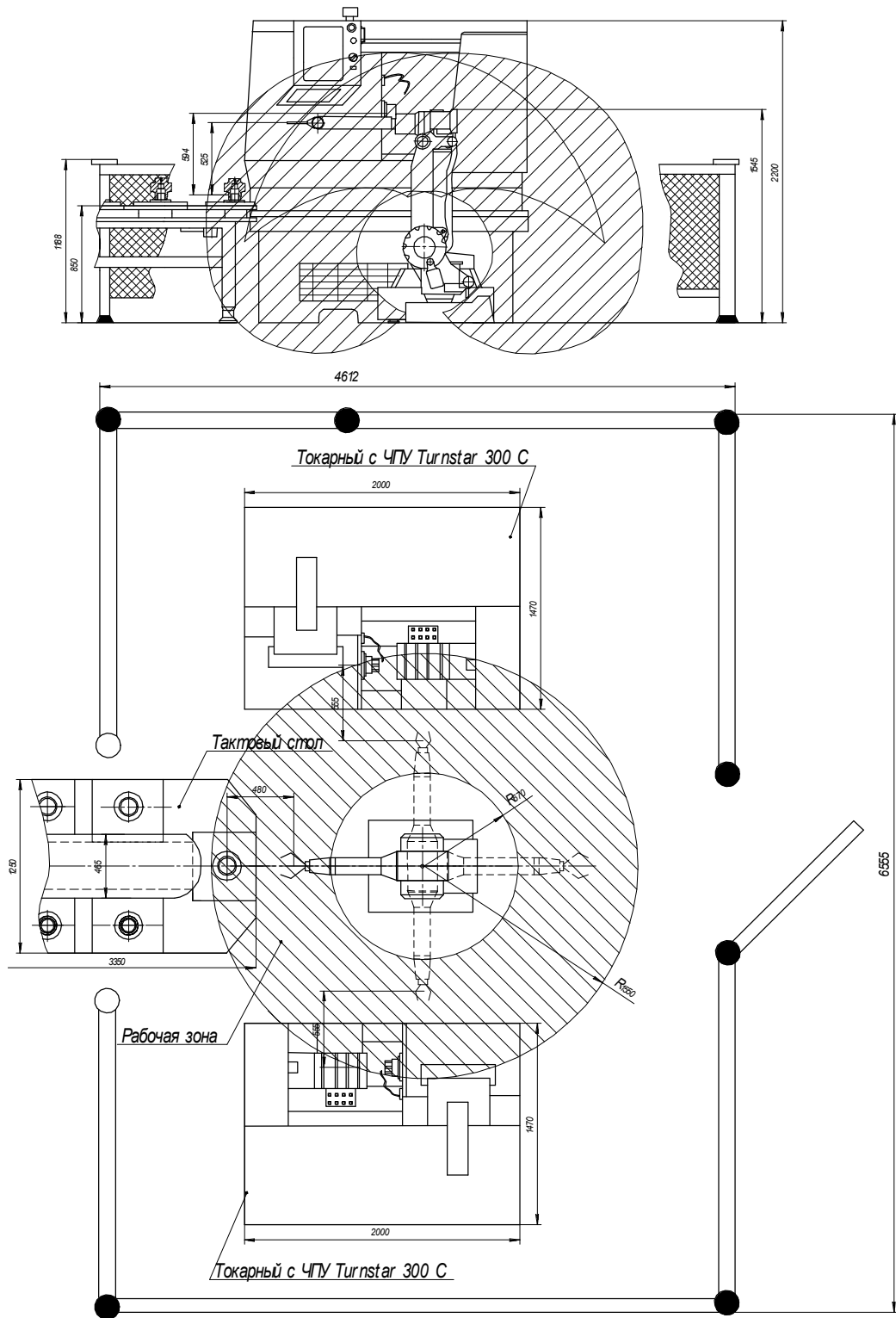


Рисунок 9 – Компонровка РТК для двух станков

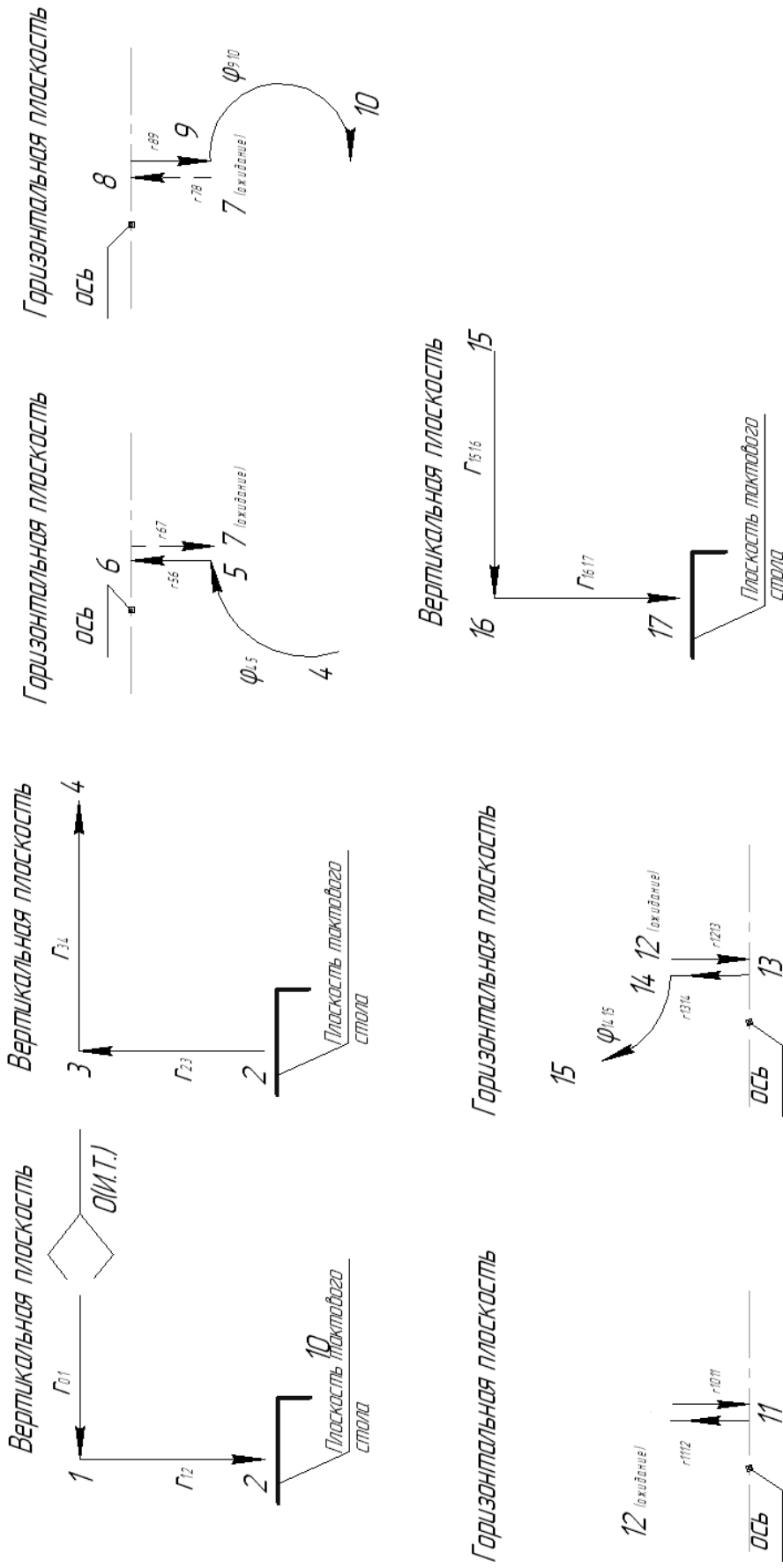


Рисунок 10 – Траектории захватного органа робота

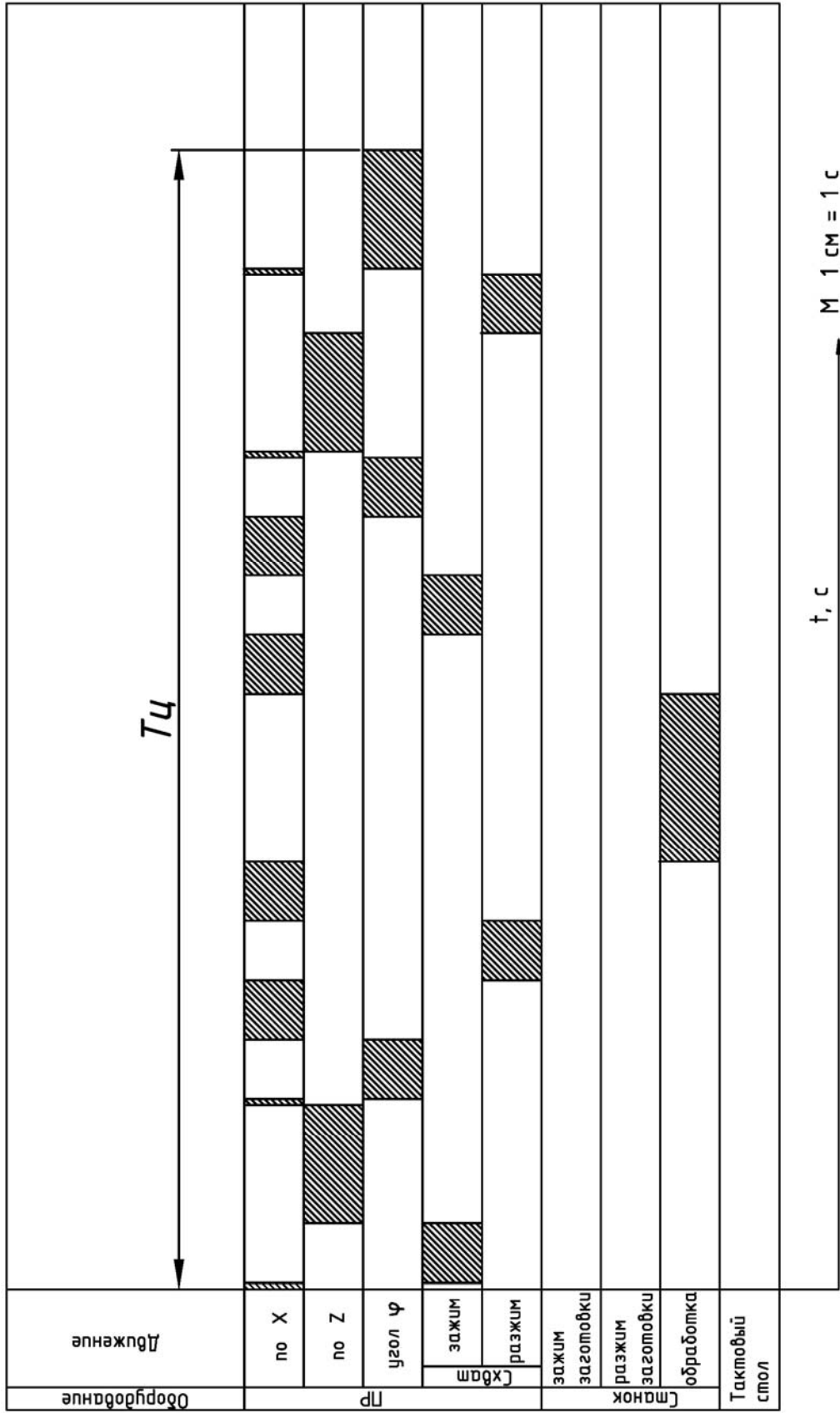


Рисунок 11 – Циклограмма РГК

Контрольные вопросы

- 1 Требования к расположению РТК.
- 2 Принципы выбора компоновок расположения средств РТК.
- 3 Примеры компоновок расположения средств РТК.
- 4 Требования к рабочему процессу РТК.
- 5 Построение циклограммы работы РТК.
- 6 Основные элементы и устройства РТК.

3 Практическая работа № 3. Разработка техпроцесса механической обработки изделий в условиях роботизированного производства

Цель работы: приобретение практических навыков разработки роботизированных операций, навыков построения эскизов механической обработки резанием.

3.1 Разработка роботизированной операции

Роботизированная операция отличается от обычно выполняемой на станках с ЧПУ наличием дополнительных переходов, связанных с автоматическим ориентированием, установом, откреплением-закреплением заготовки, ее транспортированием к операционному накопителю и станку.

Примерный состав переходов роботизированной операции.

1 Транспортный (выполняется ПР): захватить обработанную деталь цанговым захватом методом осевого перемещения руки ПР к станку по программе. Останов робота в этой позиции.

2 Позиционировать: переместить шпиндель станка с оправкой-ключом к торцу зажимной гайки приспособления соосно с оправкой цангового зажима. Установить рабочий режим открепления заготовки.

3 Автоматически открепить заготовку медленным перемещением оправки-ключа вдоль общей с приспособлением оси с вращением шпинделя против часовой стрелки, захватить гайку приспособления и отвернуть ее на 5–6 оборотов, освободив таким образом заготовку от зажима. Останов шпинделя в таком положении.

4 Транспортный (ПР): снять деталь с оправки приспособления обратным ходом руки ПР, транспортировать ее по программе к операционному накопителю, установить деталь в магазин накопителя, взять новую заготовку, транспортировать ее к приспособлению станка, установить заготовку в приспособление станка.

5 Автоматически закрепить новую заготовку (завернуть на 5–6 оборотов гайку приспособления медленным вращением шпинделя с оправкой-ключом по часовой стрелке без осевого перемещения).

6 Отвести шпиндель с оправкой-ключом в крайнее заднее положение. Поиск режущего инструмента первого перехода механической обработки.

7 Транспортный (ПР): освободить заготовку обратным ходом руки ПР.

8 Поворот стола на 180° заготовкой к шпинделю станка.

9 Сменить оправку-ключ на режущий инструмент T02 (концевую фрезу).
Позиционировать.

10 Полный цикл механической обработки заготовки по программе. Останов шпинделя. Поиск инструмента T01 (оправки-ключа).

11 Поворот стола на 180° заготовкой к ПР. Смена инструмента на оправку-ключ (T01).

Далее переходы 1–10 в автоматическом режиме повторяются для установки, закрепления и обработки следующей заготовки.

3.2 Правила сокращенной записи содержания переходов

Сокращенную запись следует выполнять при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию по обработке резанием. В этом случае в записи содержания операции дополнительную информацию не указывают.

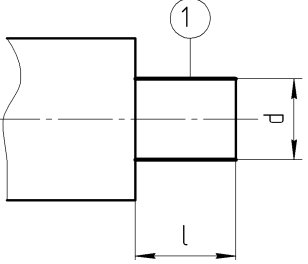
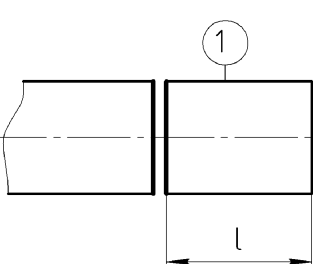
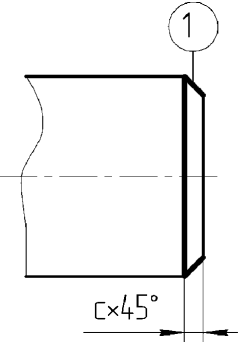
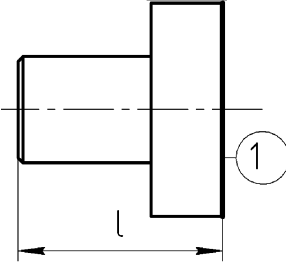
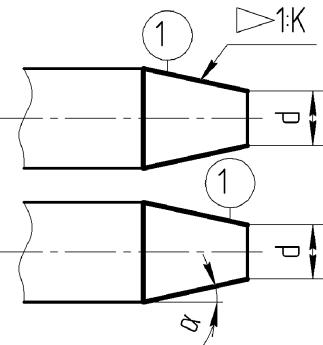
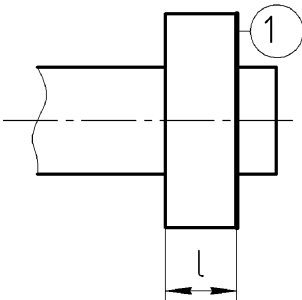
Сокращенную запись следует выполнять при условии ссылки на условное обозначение конструктивного элемента обрабатываемого изделия и при достаточной графической информации.

Например, «Точить канавку 1».

В содержание операции (перехода) должно быть включено следующее (таблица 4):

- ключевое слово, характеризующее метод обработки, выраженное глаголом в неопределенной форме (например, точить, сверлить, фрезеровать и т. п.);
- наименование обрабатываемой поверхности конструктивных элементов или предметов производства (например, цилиндр, галтель, заготовка и т. п.);
- информация по размерам или их условным обозначениям;
- дополнительная информация, характеризующая количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки (например, предварительно, одновременно, по копиру и т. п.).

Таблица 4 – Примеры сокращенной записи содержания переходов обработки

Эскиз	Запись перехода полная	Эскиз	Запись перехода полная
	Точить (шлифовать, притереть, полировать и т. п.) поверхность 1		Отрезать деталь (заготовку) 1
	Точить (шлифовать, полировать и т. п.) фаску 1		Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец 1
	Точить (шлифовать, притереть и т. п.) конус 1		Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец буртика 1

3.3 Пример выполнения работы

1 Цель практической работы.

2 Исходные данные.

Чертеж детали представлен на рисунке 12, тип производства – среднесерийный.

3 Разработка последовательности обработки отверстия соосного с наружными поверхностями.

Далее приведено описание операций с указанием основных средств технологического оснащения для изготовления втулки с фланцем (материал – сталь 45; заготовка – поковка с отверстием).

005 Токарная операция.

Станок: токарный 16К20Т1 с ЧПУ.

Схема обработки – деталь вращается, инструмент нет.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 13).

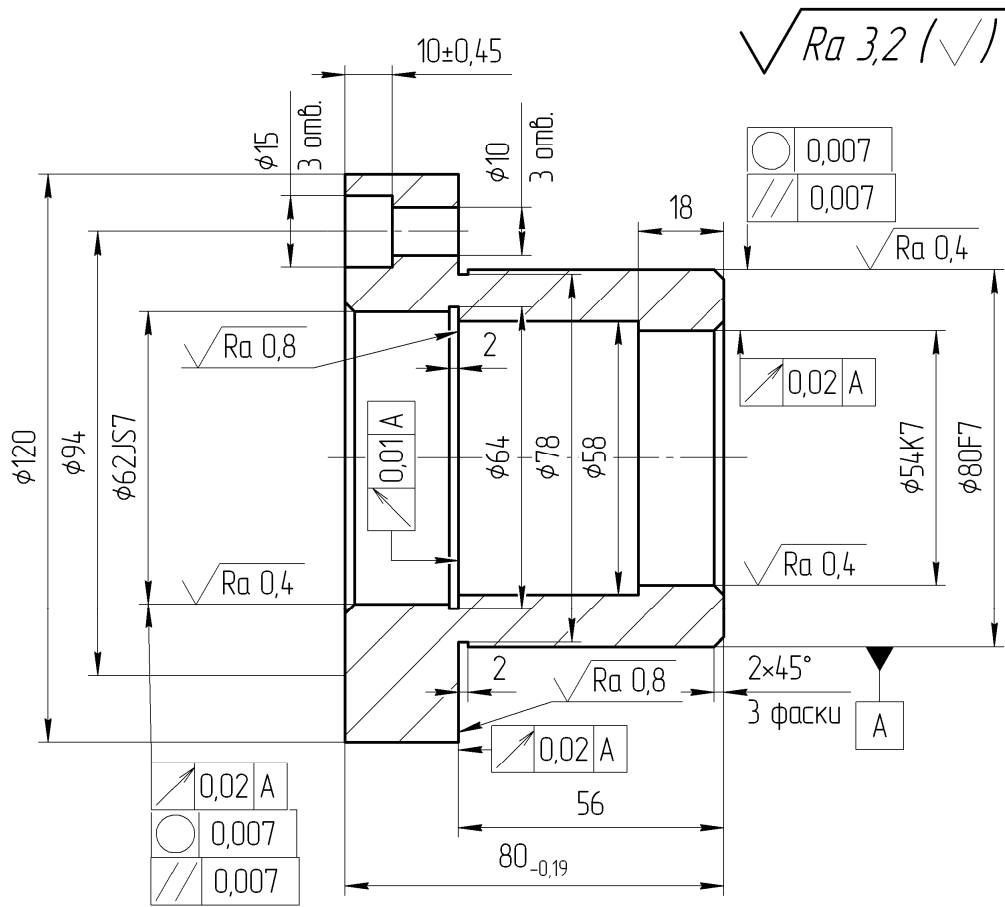


Рисунок 12 – Стакан

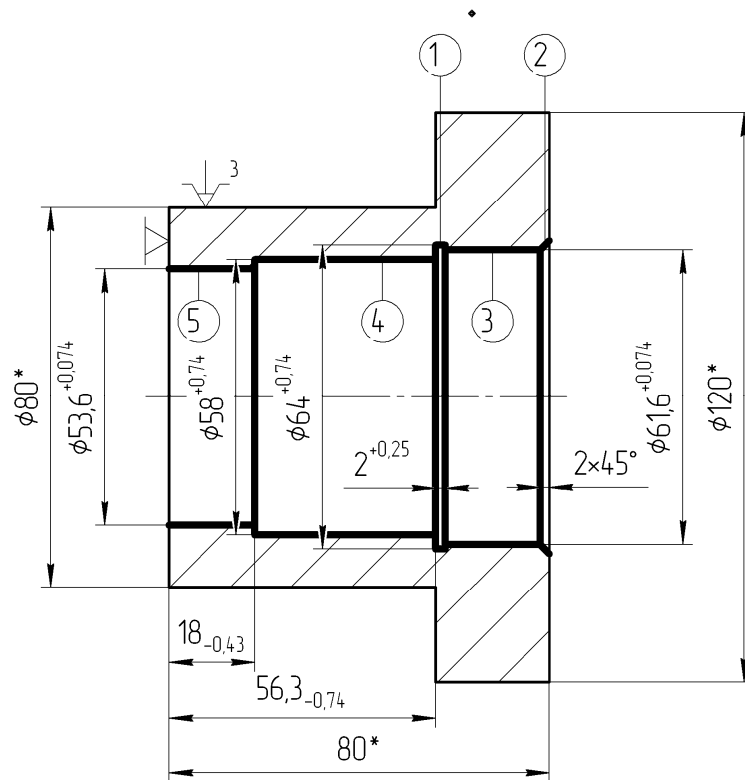


Рисунок 13 – Эскиз 005 токарной операции

1 Расточить поверхности 1, 2, 3 начерно.

2 Расточить поверхности 1, 3 начисто.

Приспособление: самоцентрирующий трехкулачковый патрон с пневмоприводом. Базирование: по поверхности диаметром 80 мм и по торцу. Режущие инструменты: контурный, расточной черновой и чистовой, прорезной. Резцы оснащены пластинками твердого сплава Т14К8. Измерительный инструмент: индикаторный нутромер с диапазоном измерения 50...75 мм и ценой деления 0,001 или 0,01 мм; штангенциркуль ШЦ1 с диапазоном измерения 150 мм и ценой деления нониуса 0,1 мм.

025 Внутришлифовальная.

Внутришлифовальный станок.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 14).

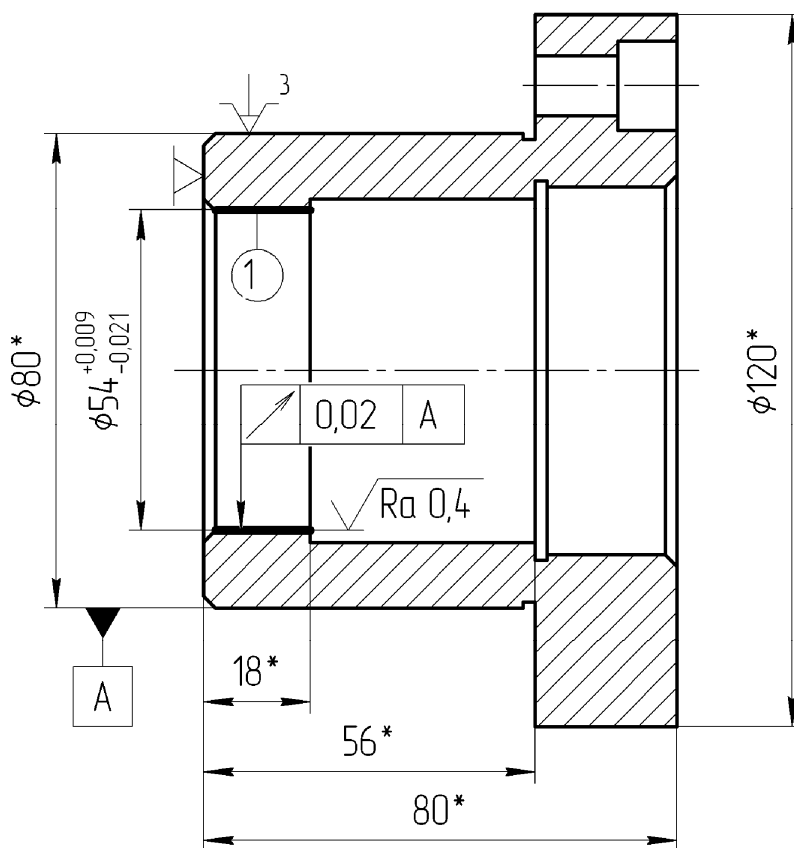


Рисунок 14 – Эскиз 025 внутришлифовальной операции

1 Шлифовать отверстие 1.

Приспособление: патрон самоцентрирующий. Базирование: по поверхности диаметром 80 мм с упором в торец.

030 Внутришлифовальная.

Внутришлифовальный станок.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 15).

1 Шлифовать отверстие 1.

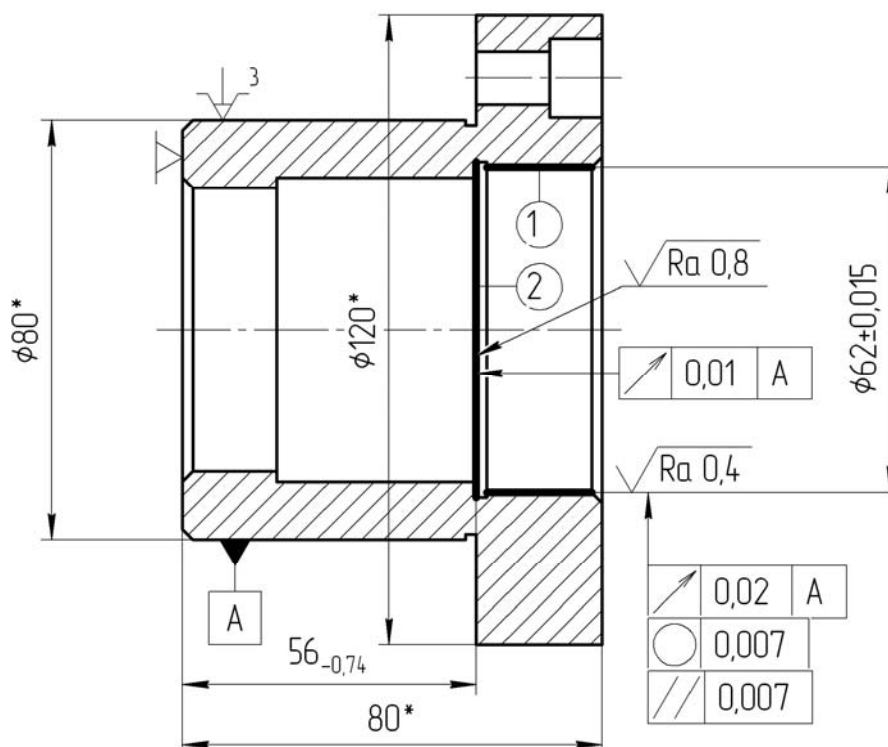


Рисунок 15 – Эскиз 030 внутришлифовальной операции

2 Шлифовать торец 2.

Приспособление: патрон самоцентрирующий. Базирование: по поверхности диаметром 80 с упором в торец.

Разработка последовательности обработки отверстий, несоосных с наружными поверхностями.

015 Сверлильная операция.

Вертикально-сверлильный станок 2P135Ф2.

Схема обработки – инструмент вращается, деталь нет.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 16).

1 Центровать три отверстия.

2 Сверлить три отверстия.

3 Цековать три отверстия 1.

Приспособление станочное с пневмоприводом. Базирование: по поверхности диаметром 80 с упором в торец. Режущий инструмент: комбинированное сверло-цековка диаметром 10 × 15 мм.

Контрольные вопросы

1 Последовательность разработки техпроцесса механообработки изделий в условиях роботизированного производства.

2 Разновидности захватных устройств роботов для обслуживания металлообрабатывающих станков.

3 Механизмы зажима заготовок на металлорежущих станках.

4 Требования к оборудованию, включаемому в состав РТК механообработки.

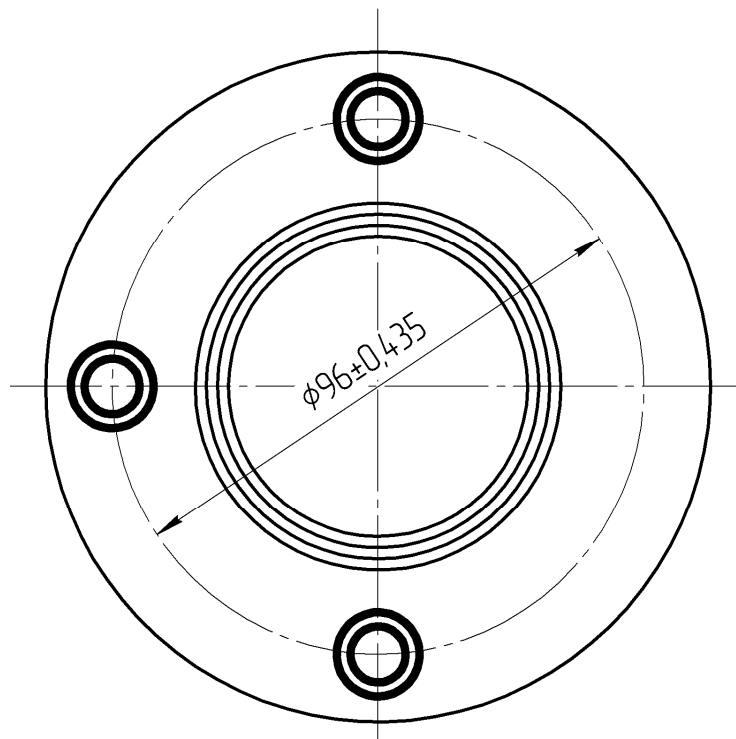
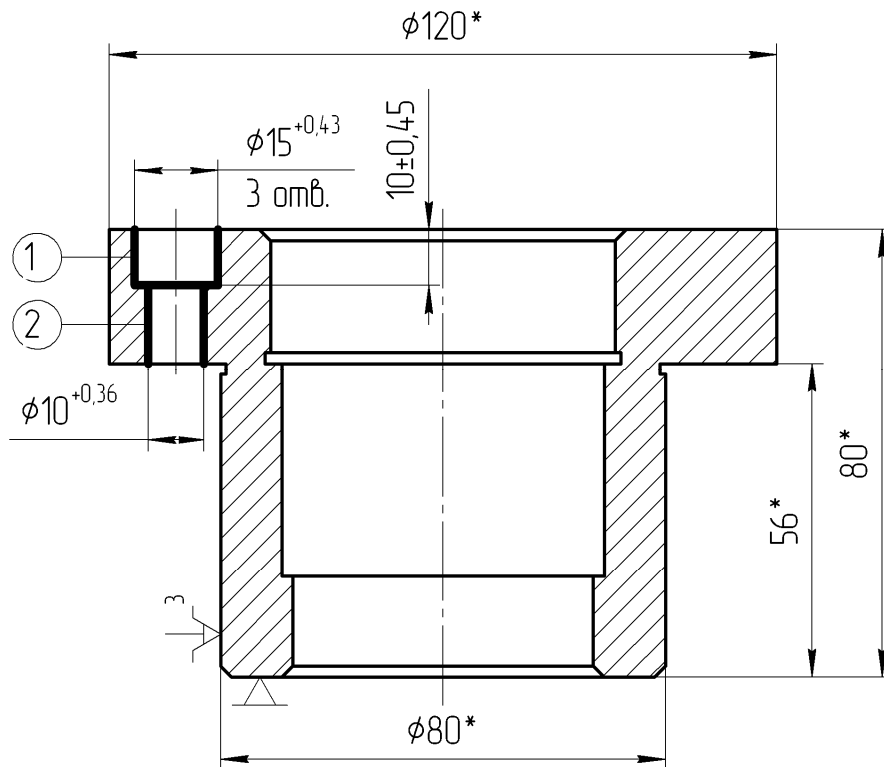


Рисунок 16 – Эскиз 015 сверлильной операции

4 Практическая работа № 4. Разработка ТП сборки изделий в условиях роботизированного производства

Цель работы: приобретение практических навыков разработки роботизированных сборочных операций.

4.1 Пространственное относительное положение собираемых деталей

В процессе автоматической сборки собираемые детали могут занимать различные положения в пространстве и относительно друг друга; при этом их положения определяются в *прямолинейных* (косоугольных, прямоугольных) и *криволинейных* (сферических, цилиндрических) системах координат.

Для выполнения процесса автоматической сборки необходимо такое совмещение системы координат базовой и присоединяемой деталей, при котором происходит их автоматическое соединение без нарушения качества сопрягаемых поверхностей.

4.2 Общие условия автоматической собираемости деталей

В общем случае после подачи собираемых деталей на сборочную позицию автомата для обеспечения их автоматической сборки и качества соединения необходимо выполнить следующие условия автоматической собираемости деталей:

$$\Delta_{\sum (T)} \leq \varepsilon_{(T)}; \quad (5)$$

$$\gamma_{\sum (T)} \leq \gamma_{(T)}; \quad (6)$$

$$\Delta_{\sum 0(T_0)} \leq \Delta_{0(T_0)}; \quad (7)$$

$$\varphi_{\sum (T)} \leq \varphi_{(T)}; \quad (8)$$

$$P_{\Pi(T)} \geq P_{сб(T)}; \quad (9)$$

$$P_{\sum \kappa(T)} \leq P_{\kappa(T)}, \quad (10)$$

где $\Delta_{\sum (T)}$, $\varepsilon_{(T)}$ – суммарные действительные и допустимые значения относительных смещений осей сопрягаемых поверхностей собираемых деталей в

плоскости, перпендикулярной оси сопряжения (сборки) в течение времени T от начала до окончания процесса автоматического соединения деталей;

$\gamma_{\Sigma(T)}$, $\gamma_{(T)}$ – суммарные действительные и допустимые значения углов относительного перекося осей сопрягаемых поверхностей собираемых деталей в течение времени T ;

$\Delta_{\Sigma_{0(T_0)}}$, $\Delta_{0(T_0)}$ – суммарная действительная и допустимая погрешности относительного смещения положения сопрягаемых поверхностей собираемых деталей вдоль их оси сопряжения в момент времени T_0 окончания их автоматического соединения (закрепления);

$\phi_{\Sigma(T)}$, $\phi_{(T)}$ – суммарные действительные и допустимые значения углов относительного поворота сопрягаемых поверхностей собираемых деталей вокруг их оси сопряжения в течение времени T ;

$P_{\Pi(T)}$ – максимальные значения усилий (осевых, крутящих моментов и т. п.), развиваемых приводом исполнительного (сборочного) механизма автомата в течение времени T ;

$P_{сб(T)}$ – максимальные значения потребных усилий (осевых, крутящих моментов и т. п.), необходимых для выполнения автоматического сопряжения (закрепления) собираемых деталей в течение времени T ;

$P_{\Sigma_{к(T)}}$, $P_{к(T)}$ – суммарные действительные значения действующих сил и допустимые значения сил в местах силового контакта собираемых деталей друг с другом или с элементами технологической оснастки и оборудования, возникающие в процессе их автоматического соединения в течение времени T .

При методе сборки с полной взаимозаменяемостью суммарное смещение Δ_{Σ} для заданного этапа (момента) соединения деталей можно рассчитывать по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{cx} + \Delta_n + \Delta_{\phi} + \Delta_{ав} + \Delta_3 + \Delta'_3 + \Delta_{из} + \Delta_T, \quad (11)$$

где Δ_{cx} – погрешность принятой схемы относительной ориентации собираемых деталей на позиции сборки;

Δ_n – погрешность настройки ориентирующих элементов сборочного автомата;

Δ_{ϕ} – погрешность фиксации транспортного органа сборочного автомата;

$\Delta_{ав}$ – погрешность, вызываемая геометрическими неточностями сборочного автомата;

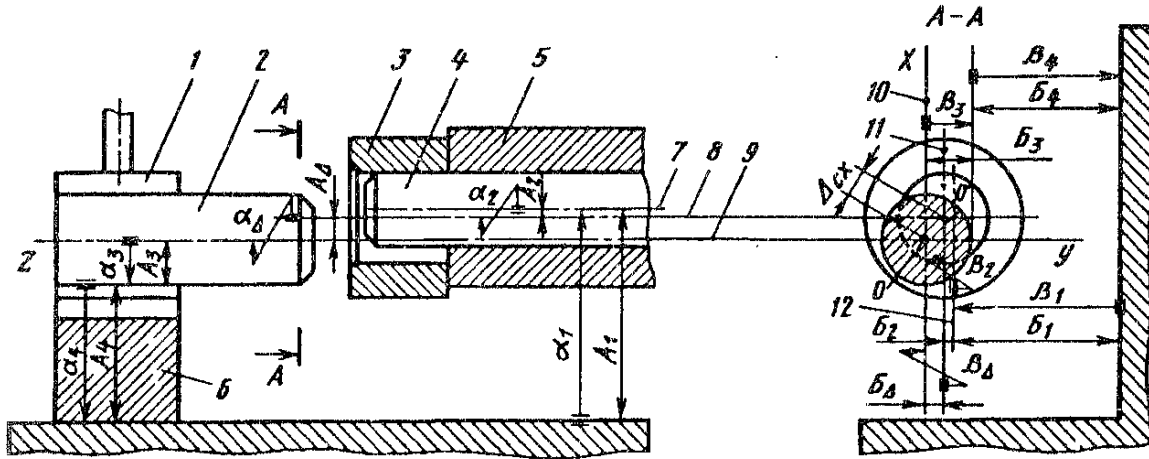
Δ_3 , Δ'_3 – погрешности закрепления соответственно базовой и присоединяемой деталей на сборочной позиции;

$\Delta_{из}$ – погрешность, обуславливаемая износом ориентирующих поверхностей сборочного автомата между двумя его поднастройками;

Δ_T – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы СООСД при выполнении сборки с тепловым воздействием.

Погрешность принятой схемы относительной ориентации собираемых де-

талей на позиции сборки автомата Δ_{cx} определяется на основе решения соответствующих размерных цепей технологической системы без учета погрешностей Δ_n , Δ_ϕ , $\Delta_{ав}$, Δ_3 , Δ'_3 , $\Delta_{из}$, Δ_T . Размерные цепи для определения погрешности Δ_{cx} показаны на рисунке 17.



1 – прижим; 2 – вал (базовая деталь); 3 – втулка (присоединяемая деталь); 4 – ловитель; 5 – толкатель; 6 – призма; 7 и 12 – ось вращения и центровая линия детали 4; 8 и 11 – ось вращения и центровая линия сопрягаемой поверхности отверстия детали 3; 9 и 10 – ось вращения и центровая линия сопрягаемой поверхности детали 2

Рисунок 17 – Размерные цепи, определяющие погрешность Δ_{cx} схемы относительной ориентации вала и втулки на позиции сборки

Замыкающими звеньями линейных размерных цепей A и B являются относительные смещения осей сопрягаемых поверхностей вала и втулки A_Δ и B_Δ , а замыкающими звеньями угловых размерных цепей α и β являются относительные углы перекоса этих осей α_Δ и β_Δ . Зная допуски на углы α_Δ и β_Δ , можно рассчитать погрешности Δ_{α_Δ} и Δ_{β_Δ} относительного смещения осей сопрягаемых поверхностей собираемых деталей, вызываемых перекосом их осей на углы α_Δ и β_Δ соответственно в плоскостях ZOX и ZOY .

4.3 Последовательность и этапы процесса автоматического соединения деталей

На основании изучения физической сущности протекания процессов автоматической сборки целесообразно процесс автоматического соединения деталей (с момента подачи их на сборочную позицию до окончания выполнения соединения) разбить условно на три характерных этапа (рисунок 18).

Первый этап автоматического соединения (см. рисунок 18, *a*) начинается с момента контактирования торцов толкателя с присоединяемой деталью (положение I) или захвата ее захватным органом и заканчивается в момент контактирования собираемых деталей друг с другом (положение II). Данный этап ха-

рактируется перемещением присоединяемой детали толкателем или захватом и возможным образованием дополнительных инерционных погрешностей $\Delta_{ин}$ относительной ориентации собираемых деталей, связанных с перемещением присоединяемой детали до момента контактирования ее с базовой деталью.

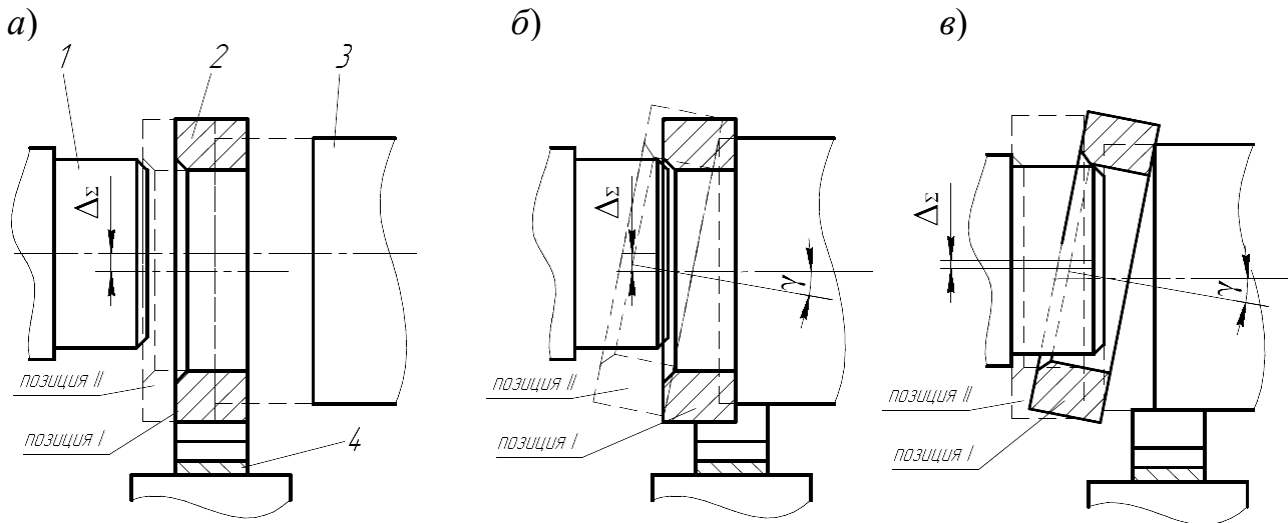


Рисунок 18 – Этапы процесса автоматического соединения деталей

Второй этап автоматического соединения – *период наживления* (см. рисунок 18, б) – начинается с момента контактирования собираемых деталей друг с другом (положение I) и заканчивается, когда относительное скольжение деталей по поверхностям их направляющих элементов (фаски, уступы, расточки, конусы и т. п.) прекращается (положение II). Этот этап характеризуется процессом соединения (относительного скольжения) собираемых деталей по поверхности их направляющих элементов и относительно быстрой компенсацией суммарного относительного смещения осей сопрягаемых поверхностей до допустимых пределов.

Третий этап автоматического соединения (см. рисунок 18, в) начинается с момента начала относительного скольжения собираемых деталей по сопрягаемым поверхностям (положение I) и заканчивается в момент окончания выполнения соединения (положение II). Данный этап характеризуется процессом непосредственного соединения (относительного скольжения) собираемых деталей по сопрягаемым поверхностям и дальнейшей компенсацией Δ_{Σ} до допустимых пределов.

При автоматическом соединении деталей без направляющих элементов период наживления отсутствует. В этом случае процесс соединения деталей будет состоять из двух этапов, условия автоматической собираемости на которых будут соответствовать условиям собираемости на первом и третьем этапах соединения деталей с направляющими элементами.

Разбивка процесса автоматического соединения деталей условно на этапы позволяет дифференцировать изучение процесса соединения деталей с целью выявления определяющих этапов и моментов соединения для расчета условий автоматической собираемости деталей.

4.4 Геометрические параметры автоматической собираемости деталей

Геометрические параметры автоматической собираемости определяются с момента контактирования собираемых деталей друг с другом до окончания выполнения соединения, т. е. на втором и третьем этапах соединения деталей. При этом расчет параметров автоматической собираемости обычно выполняют для наиболее неблагоприятных условий, при которых угол относительного перекося осей сопрягаемых поверхностей находится в плоскости наибольших смещений осей сопрягаемых поверхностей собираемых деталей, тогда пространственную задачу удастся свести к плоскостной и сделать расчет гарантированным.

Цилиндрические соединения. В момент контактирования собираемых деталей друг с другом, т. е. в момент начала второго этапа их соединения (периода наживления), предельное расчетное значение допустимого смещения ε' определяется *условием наживления деталей*

$$\Delta_{\Sigma} \leq \varepsilon' = 0,5\delta_c + atg\alpha + a'tg\alpha' - \Delta_{ин}, \quad (12)$$

где δ_c – минимальный диаметральный зазор в соединении;

α, α' – минимальные углы наклона направляющих фасок базовой и присоединяемой деталей;

a, a' – минимальные размеры направляющих фасок базовой и присоединяемой деталей;

$\Delta_{ин}$ – инерционные погрешности, которые могут возникнуть под действием инерционных сил на участке перемещения присоединяемой детали до контактирования ее с базовой деталью, т. е. на первом этапе автоматического соединения деталей.

Инерционные погрешности могут возникнуть:

– при воздействии ударного импульса на присоединяемую деталь в момент удара ее по торцу движущимся толкателем;

– при отклонении плоскости торца присоединяемой детали от перпендикулярности к своей оси сопрягаемой поверхности;

– при относительном перекося осей ориентирующих поверхностей базисных устройств и т. п.

При отсутствии у собираемых деталей направляющих фасок значения $atg\alpha$ и $a'tg\alpha'$ в формуле (12) будут равны нулю.

Предельное расчетное значение допустимого смещения ε' на третьем этапе соединения (при относительном скольжении собираемых деталей по сопрягаемым поверхностям) для соединений с зазором определяется выражением

$$\Delta_{\Sigma} \leq \varepsilon' = 0,5\delta_c. \quad (13)$$

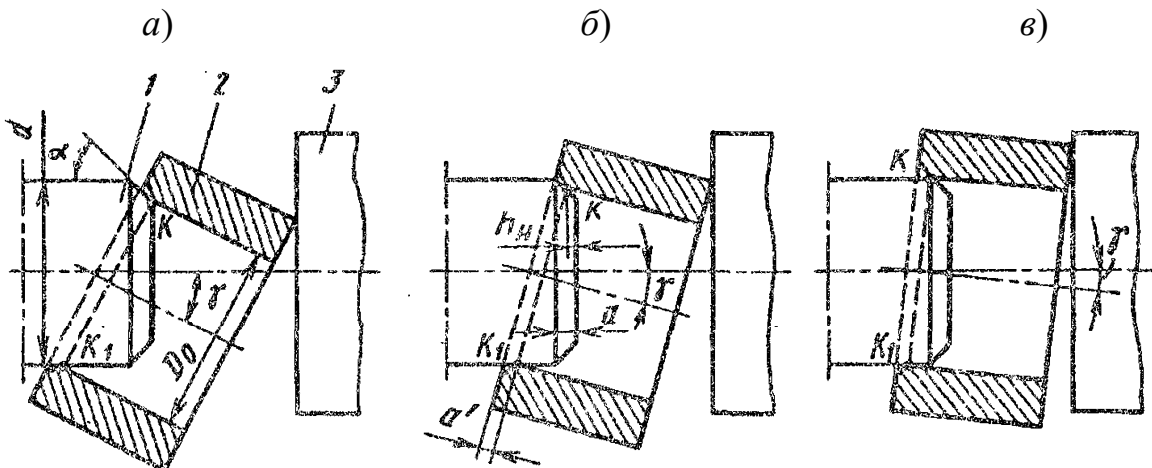
Для соединений с натягом расчетное значение допустимого смещения $\varepsilon' = 0$ в конце второго этапа и на третьем этапе соединения деталей.

Предельное расчетное значение угла γ перекоса осей сопрягаемых поверхностей в начале второго этапа соединения деталей контактирования собираемых деталей по поверхностям направляющих фасок определяется по геометрическим параметрам (рисунок 19, а):

$$\gamma_{\Sigma} \leq \gamma = \arccos \frac{d-a}{D_o}, \quad (14)$$

где d – наибольший диаметр вала;

D_o – наименьший диаметр отверстия втулки.



1 – базовая деталь (вал); 2 – присоединяемая деталь (втулка); 3 – толкатель

Рисунок 19 – Схемы последовательности автоматического соединения деталей на втором этапе

При относительном скольжении по поверхностям направляющих фасок собираемых деталей происходит ограничение угла γ за счет поворота втулки относительно точек K и K_1 (рисунок 19, б); при этом расчетное значение угла

$$\gamma_{\Sigma} \leq \gamma = \arccos \frac{d-a+h_n \operatorname{tg} \alpha}{D_o}, \quad (15)$$

где h_n – глубина наживления собираемых деталей;

α – минимальный угол наклона направляющей фаски вала.

В момент окончания второго этапа соединения деталей (относительного скольжения деталей по поверхностям их направляющих фасок) предельное расчетное значение угла γ (рисунок 19, в)

$$\gamma_{\Sigma} \leq \gamma = \arccos (d/D_o). \quad (16)$$

На третьем этапе соединения деталей (относительного скольжения собираемых деталей по сопрягаемым поверхностям) происходит дальнейшее умень-

шение угла за счет поворота втулки относительно точек контакта ее с валом; при этом предельное расчетное значение угла γ

$$\gamma_{\Sigma} \leq \gamma = \frac{-h_c d \pm \sqrt{(h_c d)^2 - (h_c^2 + D_o^2)(d^2 - D_o^2)}}{h_c^2 + D_o^2}, \quad (17)$$

где h_c – глубина соединения собираемых деталей.

4.5 Особенности автоматизации сборочных работ с использованием промышленных роботов

Достоинства использования промышленных роботов:

- повышение точности выполнения технологических операций и, как следствие, улучшение качества;
- робот может работать в три смены, 365 дней в году;
- рациональность использования производственных помещений;
- исключение влияния человеческого фактора на поточных производствах, а также при проведении монотонных работ, требующих высокой точности;
- исключение воздействия вредных факторов на персонал на производствах с повышенной опасностью;
- достаточно быстрая окупаемость.

Роботы используются на операциях узловой и общей сборки продукции:

- 1) на определенных рабочих местах, оснащенных в виде специального робототехнического комплекса (РТК);
- 2) встроенными в сборочные автоматы и полуавтоматы;
- 3) встроенными в сборочный конвейер.

На случай, если планируется комплексная роботизация, то сборки определенных РТК можно связать в единую производственную систему за счет применения транспортных устройств.

На сегодняшний день характерными сборочными работами, которые выполняются промышленными роботами, являются:

- разгрузка и загрузка автоматов, полуавтоматических и автоматических линий конвейеров;
- монтаж узлов и деталей в требуемом положении;
- шовная и точечная сварка;
- покраска изделий – роботы для покраски; складирование и транспортирование узлов и деталей;
- подача деталей, подготовленных к сборке, на специальные прессы, отвечающие за выполнение запрессовки, отбортовки, склепывания и прочих операций.

Приспособления для сборочных роботов служат для установки базовой детали собираемого изделия. После ее автоматического закрепления производится последовательная установка всех остальных деталей изделия. Затем собранный объект автоматически открепляется и передается рабочим органом робота (или автоматическим выталкивателем) в тару или на следующую позицию без

потери ориентации. Весь цикл сборки выполняется автоматически по заранее составленной программе. Подача команд на исполнительные органы приспособления обычно производится от системы управления робота. Возможно и автономное управление с подачей команд на зажим и разжим от рабочего органа робота.

Сборочное приспособление устанавливается на столе или стойке возле робота. В простейшем случае оно представляет собой плиту с элементами для точной установки базовой детали собираемого изделия. Зажимные устройства выполняют пневматического или гидравлического типа с управлением от системы робота. Приспособление должно быть, по возможности простым, с открытой рабочей зоной, обеспечивающей свободный подвод рабочего органа робота и установку деталей. В мелкосерийном производстве приспособление целесообразно собирать из элементов УСП, что сокращает время на технологическую подготовку роботизированного производства. Для быстрой и точной установки приспособления (при переналадке на новый объект сборки) на столе или стойке робота без выверки необходимо предусматривать направляющие шпонки или контрольные штифты.

4.6 Роботизированные технологические комплексы сборки

Роботизированные технологические комплексы (РТК) сборки предназначены для выполнения одной или нескольких сборочных и других технологических операций.

РТК сборки – автономно функционирующий комплекс, представляющий собой совокупность робота, технологического оборудования (или без него) и средств оснащения. В качестве средств оснащения РТК применяют устройства накопления, ориентации и поштучной выдачи собираемых элементов, транспортные и другие устройства, обеспечивающие его функционирование.

Различают различные виды РТК сборки по назначению, структуре и компоновке.

РТК сборки могут создаваться на базе:

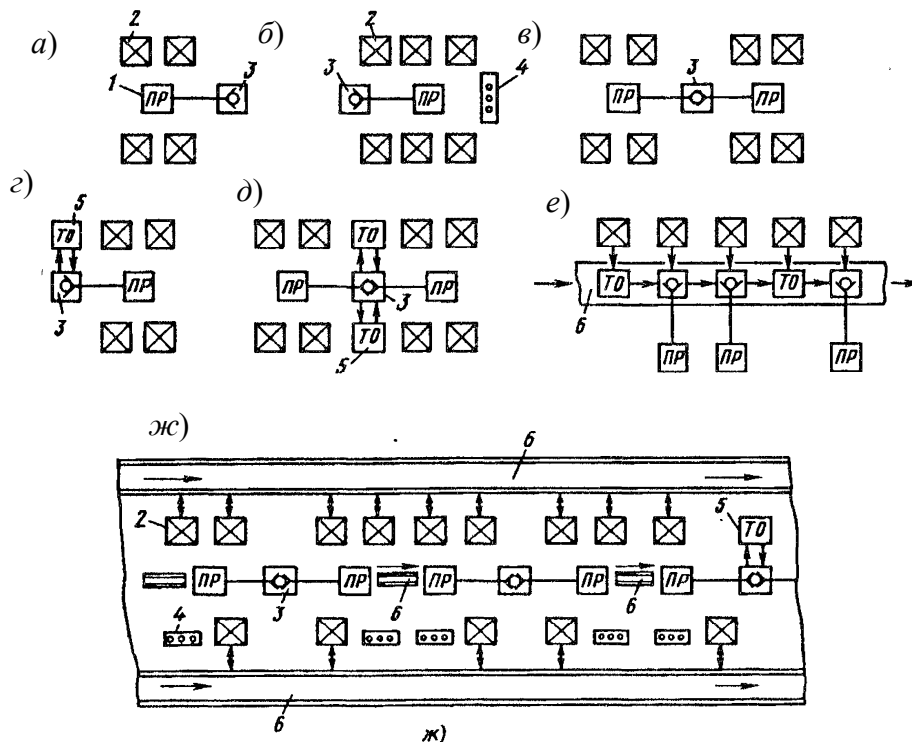
- простых по конструкции специализированных роботов;
- сложных роботов, выполняющих несколько сборочных операций со сменной инструмента в процессе сборки;
- роботов с адаптивным управлением, осуществляющих полную сборку изделий и т. п.

На рисунке 20 показаны примеры компоновочных схем РТК сборки. На рисунке 20, а показана схема РТК с одним роботом для сборки несложных узлов (три–пять деталей). Робот захватывает ориентированные детали из накопителей (магазинов, кассет) и устанавливает их на базовую деталь, расположенную в приспособлении; при этом собранные узлы перемещаются роботом в тару. Для сборки более сложных узлов (пять–десять деталей) в РТК предусматривается магазин сменных захватных устройств и сборочных инструментов (см. рисунок 20, б).

На рисунке 20, в показана схема РТК с двумя роботами, выполняющими операции сборки. В РТК включают технологическое оборудование для выполнения операций запрессовки, клепки, вальцевания и т. п.; при этом робот осуществляет сборку деталей в приспособлении, затем собираемый узел передается на технологическое оборудование, после чего (при необходимости) возвращается для завершения сборки деталей роботом в приспособлении (см. рисунок 20, з).

На рисунке 20, д показана схема РТК для сборки деталей с двумя роботами и двумя единицами технологического оборудования.

Отдельные РТК сборки с помощью транспортных средств могут объединяться в линии (см. рисунок 20, е) и участки (см. рисунок 20, ж) роботизированной автоматической сборки.



1 – промышленный робот; 2 – накопители деталей и собранных узлов; 3 – базирующее приспособление; 4 – магазин сменных захватных устройств и сборочных инструментов; 5 – технологическое оборудование; 6 – сборочный конвейер

Рисунок 20 – Примеры компоновочных схем РТК сборки

Контрольные вопросы

- 1 Пространственное относительное положение собираемых деталей.
- 2 Общие условия автоматической собираемости деталей.
- 3 Погрешности, вызванные суммарным смещением осей Δ_{Σ} при автоматической сборке деталей машин.
- 4 Погрешности настройки, фиксации, возникающие при автоматической сборке деталей машин.

5 Погрешности, связанные с геометрическими неточностями сборочного автомата, износом ориентирующих поверхностей базирующих элементов и тепловыми деформациями при автоматической сборке деталей машин.

6 Относительные смещения, возникающие вследствие перекоса осей сопрягаемых поверхностей при автоматической сборке деталей машин.

7 Этапы процесса автоматического соединения деталей.

8 Геометрические параметры автоматической собираемости цилиндрических соединений.

9 Роботизированные технологические комплексы сборки.

Список литературы

1 **Клепиков, В. В.** Автоматизация производственных процессов : учебное пособие / В. В. Клепиков, Н. М. Султанзаде, А. Г. Схиртладзе. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 208 с.

2 **Гуревич, Ю. Е.** Роботехнические устройства: учебник / Ю. Е. Гуревич. – Старый Оскол : ТНТ, 2022. – 327 с.

3 **Иванов, А. А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А. А. Иванов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2023. – 224 с.

4 **Козырев, Ю. Г.** Применение промышленных роботов: учебное пособие / Ю. Г. Козырев. – Москва : Кнорус, 2011. – 488 с.

5 **Егоров, В. А.** Транспортно-накопительные системы для ГПС / В. А. Егоров. – Ленинград : Машиностроение, 1989. – 293 с.

6 **Бляхеров, И. С.** Автоматическая загрузка технологических машин: справочник / И. С. Бляхеров. – Москва : Машиностроение, 1990. – 400 с.

7 **Кадыров, Ж. Н.** Диагностика и адаптация станочного оборудования ГПС / Ж. Н. Кадыров. – Ленинград : Политехника, 1991. – 144 с.

8 **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – Минск : Вышэйшая школа, 1983. – 256 с.

9 **Медведев, В. А.** Технологические основы ГПС / В. А. Медведев, В. П. Вороненко, В. Н. Брюханов; под ред. Ю. М. Соломенцева. – Москва: Машиностроение, 1991. – 240 с.

10 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – 5-е изд., испр. – Москва : Машиностроение-1, 2003. – Т. 1. – 912 с.

11 **Родина, А. А.** Технологическое оснащение автоматизированных производств на базе РТК: учебное пособие / А. А. Родина, А. Н. Колодин, Б. Н. Хватов. – Тамбов : ТГТУ, 2014. – 82 с.

12 **Жолобов, А. А.** Технология автоматизированного производства / А. А. Жолобов. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 624 с.

13 Проектирование технологических процессов сборки машин / А. А. Жолобов [и др.]; под ред. А. А. Жолобова. – Минск: Новое знание, 2005. – 410 с.