

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»  
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2019

УДК 621.91  
ББК 30.61  
П 79

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
«30» сентября 2019 г., протокол № 2

Составитель ст. преподаватель А. Э. Липский

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Учебно-методическое издание

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать 17.12.2019. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,94. Тираж 26 экз. Заказ № 794.

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, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2019



## Содержание

1 Расчет общей погрешности приспособления .....	4
2 Выбор технологического оборудования .....	9
3 Расчет точности позиционирования инструментального блока .....	11
4 Расчет податливости инструментального блока .....	16
5 Расчет потребного количества режущего и вспомогательного инструмента в условиях автоматизированного производства .....	19
6 Полировальная линия Pulimetal Cittadini TCLP MOAO «Красный металлист».....	24
6.1 Основные положения.....	24
Список литературы.....	31



## 1 Расчет общей погрешности приспособления

Суммарная погрешность при выполнении любой операции механической обработки состоит из погрешностей установки детали, настройки станка и погрешности обработки, возникающей в процессе изготовления детали.

*Погрешность установки  $E_y$*  – одна из составляющих суммарной погрешности выполняемого размера детали – возникает при установке обрабатываемой детали в приспособлении и складывается из погрешности базирования  $E_b$ , погрешности закрепления  $E_z$  и погрешности положения детали  $E_{np}$ , зависящей от неточности приспособления и определяемой ошибками изготовления и сборки его установочных элементов и их износа при работе.

Для получения годных деталей суммарная погрешность при обработке детали на станке должна быть меньше допуска  $\delta$  на заданный размер детали. Это условие выражается неравенством [1]

$$E_y + \Delta_n + \Delta_{обр} \leq \delta.$$

*Погрешностью базирования  $E_b$*  называют разность предельных расстояний измерительной базы относительно установленного на заданный размер детали режущего инструмента. Погрешность базирования возникает, когда опорная установочная база обрабатываемой детали не совмещена с измерительной. Величина  $E_b$  относится к заданному размеру, получаемому при соответствующей схеме установки детали в приспособлении.

*Погрешностью закрепления  $E_z$*  называют разность между наибольшей и наименьшей величинами проекций смещения измерительной базы в направлении получаемого размера вследствие приложения к обрабатываемой детали силы зажима  $W$ . Основная причина, влияющая на погрешность закрепления детали, – деформация базовых поверхностей детали и стыков цепи, по которой передаются силы зажима (механизированный привод, промежуточные звенья, корпус, установочные и зажимные детали приспособления, обрабатываемая деталь).

Большое влияние на погрешность закрепления оказывают форма и габаритные размеры обрабатываемой детали, точность и чистота базовых поверхностей, конструкция приспособления и постоянство сил зажима детали. Следовательно, погрешности закрепления необходимо определять для конкретных схем установки детали в приспособлении опытным путем. При обработке деталей в достаточно жестких приспособлениях погрешность закрепления оказывает незначительное влияние на точность обработки и ее можно в расчетах не учитывать.

*Погрешность положения  $E_{np}$*  детали относительно режущего инструмента возникает в результате неточного изготовления приспособления, его сборки и износа установочных элементов в процессе эксплуатации. Неточности при изготовлении приспособления возникают от погрешностей изготовления его деталей, сборки и регулировки. Точность изготовления приспособления задается в рабочем чертеже и в технических условиях.

На погрешность наложения детали в приспособлении наибольшее влияние оказывает износ его постоянных установочных опор. Различные детали приспособления контролируют в установленные сроки. При износе они проходят соответствующий вид ремонта.

Обозначим погрешности изготовления приспособления и износ его опор через  $\varepsilon_{np}$ . Так как  $\varepsilon_{\delta}$ ,  $\varepsilon_z$ ,  $\varepsilon_{np}$  представляют собой поля рассеивания случайных величин, подчиняющихся закону нормального распределения, погрешность установки  $\varepsilon'_y$  как суммарное поле рассеивания выполняемого размера детали определим по формуле [1]

$$\varepsilon'_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{np}^2}.$$

При выборе способа установки детали необходимо сравнить полученную для данной установки погрешность  $\varepsilon'_y$  с допустимой погрешностью  $\varepsilon_y$ . Для принятой схемы установки нужно выполнять условие  $\varepsilon'_y \leq \varepsilon_y$ .

Для обеспечения необходимой точности обрабатываемой детали при конструировании приспособления нужно выбрать такую схему, при которой будет соблюдено, как говорилось выше, условие

$$\varepsilon'_\delta \leq \varepsilon_\delta,$$

где  $\varepsilon'_\delta$  – действительное значение погрешностей базирования заготовки в приспособлении;

$\varepsilon_\delta$  – допускаемое значение погрешностей базирования заготовки в приспособлении.

Допускаемое значение погрешностей базирования заготовки в приспособлении  $\varepsilon_\delta$  ориентировочно рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_\delta = \delta - \Delta_{обр},$$

где  $\delta$  – допуск выдерживаемого размера;

$\Delta_{обр}$  – погрешность обработки, получаемая при выполнении данной операции.

При отсутствии обоснованных данных о точности обработки, получаемой при данной операции, может приниматься среднеэкономическая точность обработки.

Действительное значение погрешностей базирования заготовки в приспособлении  $\varepsilon'_\delta$  определяют из геометрических связей, свойственных схеме базирования. Формулы расчета  $\varepsilon'_\delta$  для наиболее часто встречающихся схем базирования приводятся в справочных данных.

Расчетную суммарную погрешность приспособления  $\varepsilon_{np}$  определяем по формуле



$$\varepsilon_{np} \leq \delta - (k_1 \cdot \varepsilon'_\delta + \varepsilon_y + k_2 \cdot \Delta),$$

где  $\delta$  – допуск на обрабатываемой детали;  
 $k_1$  – коэффициент, равный 0,8...0,85;  
 $k_2$  – коэффициент, равный 0,6...1,0;  
 $\Delta$  – погрешность обработки на данной операции;  
 $\varepsilon_y$  – погрешность установки.

Погрешность установки  $\varepsilon_y$  – это смещение заготовки при закреплении. Она зависит от типа приспособления, от характера зажима и от схемы базирования. Значения погрешности базирования можно выбрать из справочников. Определив погрешность базирования  $\varepsilon'_\delta$  и найдя по таблицам погрешность установки  $\varepsilon_y$  детали и точность обработки  $\Delta$ , рассчитываем суммарную погрешность приспособления  $\varepsilon_{np}$ , которую затем распределяем по отдельным составляющим звеньям размерной цепи:

$$\varepsilon_{np} = \sum \delta_u + \delta_y + \delta_z + \delta_n,$$

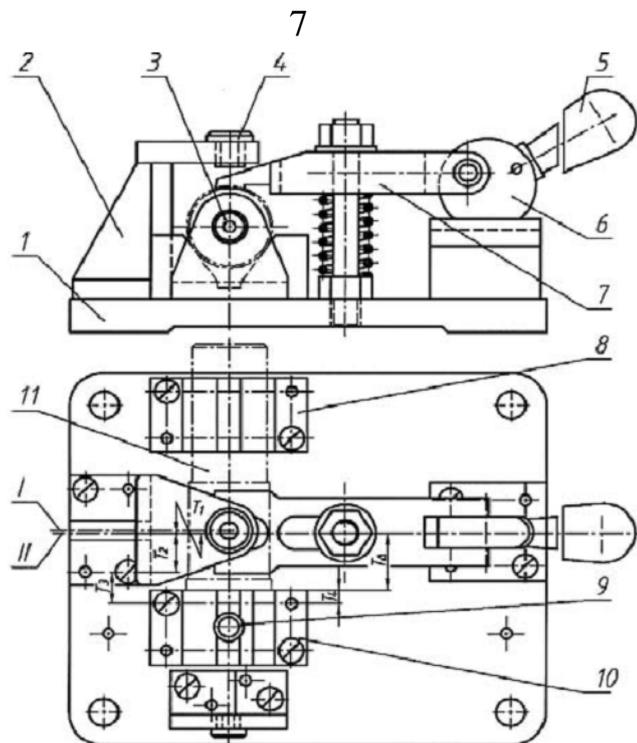
где  $\delta_u$  – погрешность изготовления деталей приспособления;  
 $\delta_y$  – погрешность установки приспособления на станке;  
 $\delta_z$  – погрешность вследствие конструктивных зазоров, необходимых для посадки на установочные элементы приспособления;  
 $\delta_n$  – погрешность перекоса или смещения инструмента, возникающего из-за неточности изготовления направляющих элементов приспособления, если направляющие отсутствуют, погрешность  $\delta_u$  не учитывается.

Схемы приспособления (рисунок 1.1). Заготовка с установочными элементами – призма 10 с плавающим пальцем 9 и призма 8; зажимное устройство – прихват 7 со шпилькой и пружиной, эксцентрик 6 с осью и опорой и приводная рукоятка 5; элементы для направления инструмента – кондукторные втулки 3 и 4 с кронштейном 2, содержащим плиту для вертикальной кондукторной втулки; корпус 1 со стойкой – плитой для горизонтальной кондукторной втулки.

Расчет приспособления на точность по допуску расстояния от оси кондукторной втулки 4 (см. рисунок 1.1) до опорного торца призмы 10.

При условии, что середины полей допусков межцентровых расстояний в деталях и кондукторной плите совпадают, расчет целесообразно вести по формуле  $\varepsilon_{np} = \delta - (\sum s + \sum e + \sum \varepsilon_n)$ , определяя все расчетные факторы. Допуск обработки заготовки (размер 35 мм) из условий чертежа детали  $\delta = (0,62 \pm 0,31)$  мм.





I – ось посадочная цилиндрической поверхности втулки; II – ось рабочей поверхности (отверстия) втулки

Рисунок 1.1 – Схема приспособления

В соответствии с принятой схемой (см. рисунок 1.1) в конструкции приспособления предусмотрена одна вертикальная кондукторная втулка 4, которая впрессовывается непосредственно в отверстие плиты кронштейна 2. Поэтому имеется только один односторонний максимальный зазор  $s_1$  между сверлом и кондукторной втулкой, который складывается из максимального зазора посадки (посадка между сверлом и втулкой  $F7/h7$ ) и зазора изнашивания втулки. Максимальный зазор посадки складывается из предельных значений допусков размеров отверстия втулки (+ 0,034 мм) и сверла (– 0,018 мм). Допуск износа принимается (+ 0,062 мм) [1, таблица 175]. Тогда  $\sum S = s_1 = 0,5 (0,034 + + 0,018 + 0,062) = 0,057$  мм.

В связи с наличием одной кондукторной втулки в расчете следует учитывать только один эксцентриситет. В соответствии с вышеприведенными рекомендациями  $\sum e = e_1 = 0,005$  мм.

Для одной вертикальной кондукторной втулки будет иметь место одна погрешность от перекоса сверла  $\sum n_1$ , которая рассчитывается по формуле  $\sum \varepsilon_{np} = \varepsilon_{np1} = = 2s_1m / l = 2 \cdot 0,057 \cdot 10,5 / 20 = 0,06$  мм. Здесь  $s_1 = 0,057$  мм;  $m = d = 10,5$  мм; длина кондукторной втулки  $d = 10,5$  мм по ГОСТ 18430–73  $l = 20$  мм.

Все найденные значения факторов подставляются в формулу и вычисляется значение:  $\varepsilon_{np} = 0,31 - h(0,057 + 0,005 + 0,06) = 0,188$  мм.

Таким образом, допуск изготовления приспособления по размеру 35 мм равен  $\pm 0,188$  мм.

### ***Порядок выполнения работы***

- 1 Ознакомиться с видами погрешностей при выполнении операции механической обработки.
- 2 Ознакомиться с факторами, влияющими на погрешности.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Виды погрешностей.
- 3 Расчёт суммарной погрешности приспособления.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Суммарная погрешность.
- 2 Когда возникает погрешность установки?
- 3 Что влияет на погрешность закрепления?
- 4 Виды погрешностей.
- 5 Факторы, влияющие на погрешности.

## 2 Выбор технологического оборудования

Выбор станочного оборудования является одной из важнейших задач при разработке технологического процесса механической обработки. От правильного его выбора зависит производительность изготовления детали, экономное использование производственных площадей, механизации и автоматизации ручного труда, электроэнергии и в итоге себестоимость изделия.

В зависимости от объема выпуска изделий выбирают станки по степени специализации и высокой производительности, а также станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

Выбор каждого вида станка должен быть экономически обоснованным. Производится расчет технико-экономического сравнения обработки данной операции на разных станках. При заданном объеме выпуска изделий необходимо принимать ту модель станка, которая обеспечит наименьшие трудовые и материальные затраты, а также себестоимость обработки заготовки. При выборе следует дать краткое описание моделей станков, применяемых в технологическом процессе, указать предпочтение выбранной модели станка по сравнению с другими аналогичными.

Характеризуя выбранные модели станка, можно ограничиться краткой их технической характеристикой. Если выбраны станки специальные, агрегатные и специализированные, то следует описать их принципиальную схему.

При выборе станочного оборудования необходимо учитывать следующее.

1 Характер производства.

По технологическому назначению все станки подразделяются на девять групп. В каждой группе предусмотрены девять типов станков, отличающихся друг от друга технологическим назначением, расположением их главных рабочих органов (вертикально- и горизонтально-фрезерные станки), степенью автоматизации (полуавтомат и автомат).

2 Методы достижения заданной точности при обработке.

По точности – нормальной (Н) точности, повышенной (П), высокой (В), особо высокой (А), особо точные или прецизионные (С).

3 Необходимую сменную (или часовую) производительность.

4 Соответствие станка размерам детали.

5 Мощность станка.

6 Удобство управления и обслуживания станка.

7 Габаритные размеры и стоимость станка.

По массе – легкие (до 1 т), нормальные (до 10 т), крупные (до 30 т), тяжелые (до 100 т) и уникальные (свыше 100 т).

8 Возможность оснащения станка высокопроизводительными приспособлениями и средствами механизации и автоматизации.

Оборудование должно подбираться не только с точки зрения обеспечения предъявляемых к нему технических требований, но и с точки зрения достижения наивысших экономических показателей проектируемой операции. В связи с необходимостью быстрого перехода производства на выпуск новых изделий



возникает необходимость использования оборудования большой гибкости и быстрой переналадки.

К быстропереналаживаемому гибкому оборудованию относятся:

- станки с ЧПУ;
- гибкие производственные модули (ГПМ);
- гибкие производственные участки и линии, состоящие из комплектов ГПМ;
- гибкие полуавтоматические и автоматические линии, управляемые от ЭВМ.

При выборе станочного оборудования нужно учитывать современные достижения станкостроения.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Факторы, влияющие на выбор оборудования.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что зависит от выбора оборудования?
- 2 Что учитывается при выборе станочного оборудования?
- 3 Экономическое обоснование выбора оборудования.
- 4 Конструкция полировальной линии Pulimetal Cittadini.



### 3 Расчет точности позиционирования инструментального блока

Определить биение цилиндрической оправки с инструментом диаметром  $D$  (таблица 3.1), закрепленной в цанговом патроне, установленном в шпинделе станка с ЧПУ класса точности Н (рисунок 3.1).

Таблица 3.1 – Исходные данные для выполнения задачи

Номер варианта	Диаметр $D$ , мм	Длина $l_1$ , мм	Длина $l_2$ , мм	Длина $l_3$ , мм	Длина $l_4$ , мм
1	100	88	100	190	247
2	48	36	60	90	241
3	85	78	90	180	354
4	60	53	78	110	300
5	78	70	90	200	350
6	68	62	97	246	300
7	100	86	90	213	480
8	88	82	90	210	540
9	70	62	75	210	241
10	40	31	60	180	540
11	120	122	60	210	240
12	115	10	86	170	650
13	86	70	20	210	780
14	170	55	60	180	540
15	82	74	80	100	240
16	76	62	70	90	298
17	120	16	40	80	245
18	150	38	50	100	246
19	96	84	90	120	243
20	56	46	50	90	249
21	100	88	100	190	247
22	48	36	60	90	241
23	85	78	90	180	354
24	60	53	78	110	300
25	78	70	90	200	350

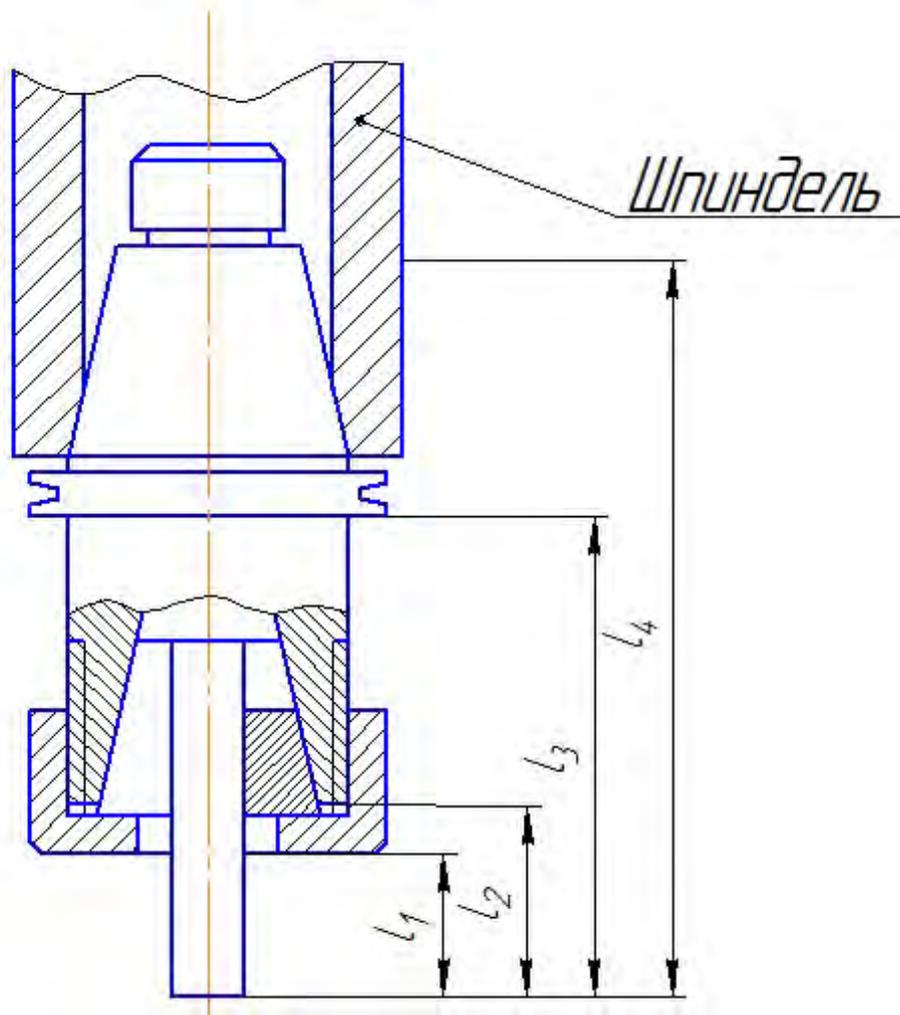


Рисунок 3.1 – Инструментальный блок

Биение режущей части инструмента

$$e_{\Sigma} = 1 / K_{\Sigma} \Sigma(e_i, A_i, K_i),$$

где  $K_{\Sigma}$  – коэффициент относительного рассеяния;

$e_i, A_i$  – принятое за скалярную величину произведение векторной величины  $e_i$  на передаточное отношение  $A_i$ ;

$K_i$  – приведенный коэффициент относительного рассеяния присоединительных поверхностей.

Значения  $K_i$  и  $e$  определяются из [5].

**Пример** – Инструментальные блоки, устанавливаемые в шпинделе, должны обеспечить статическую точность, приведенную к вылету режущих кромок.

Допустимое биение режущих кромок до 18 мм после установки инструментального блока в шпиндель  $[2e_{\Sigma}] = 0,056$  мм [7, с. 37].

Рассчитаем биение  $2e_{\Sigma}$  резца, установленного в шпинделе станка с ЧПУ, при следующих исходных данных (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Исходные данные

Исходный параметр	Значение параметра, мм
Биение шпинделя станка при вылете шпинделя 300 мм	0,001
Действительный вылет шпинделя	160
Биение конического отверстия 7:24 шпинделя у торца	0,008
Степень точности изготовления конических поверхностей	АТ7
Биение цилиндрической поверхности базового блока относительно наружного конуса 7:24	0,01
Биение относительно цилиндрического хвостовика	0,01

### Решение

Выполним эскиз инструментального блока с указанием его элементов, диаметральных размеров элементов на концах стыков и осевых размеров от концов стыков элементов, а также выявим размерную цепь, замыкающим звеном которой является смещение резца (рисунок 3.2).

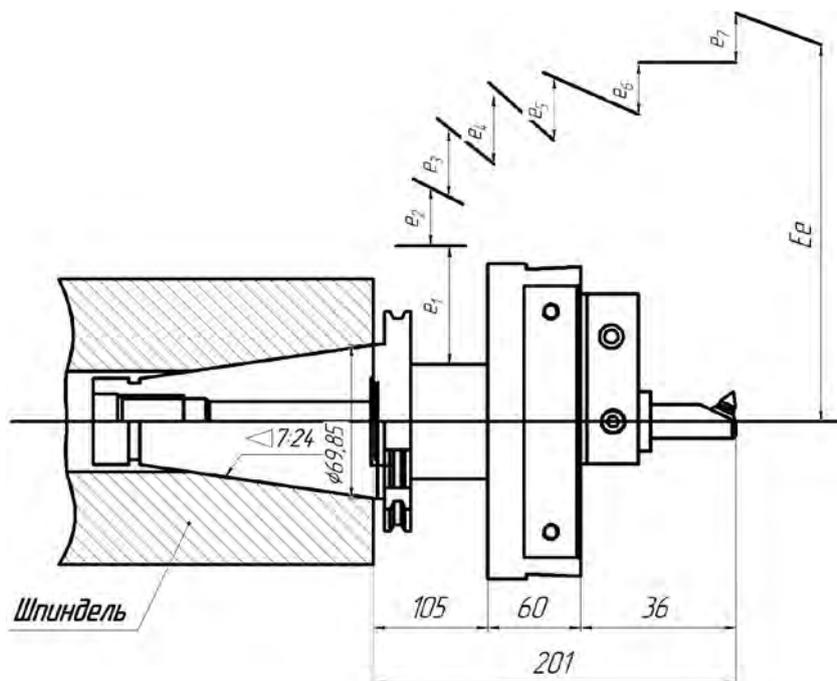


Рисунок 3.2 – Расчетная схема

На рисунке 3.2 приняты следующие обозначения:  $e_1$  – смещение конического отверстия в шпинделе;  $e_2$  – перекося оси отверстия шпинделя;  $e_3$  – перекося в коническом соединении базового блока и шпинделя;  $e_4$  – смещение цилиндрического отверстия базового блока к оси конуса 7:24;  $e_5$  – перекося в соединении базового блока и оправки;  $e_6$  – смещение оси конической поверхности оправки к оси цилиндрического хвостовика;  $e_7$  – перекося в цилиндрическом соединении оправки и хвостовика;  $E_e$  – суммарное смещение.

Для каждого элемента инструментального блока определяем значения  $e_i$ ,  $K_i$ ,  $A_i$  по [7, с. 38].

$$A_1 = A_4 = A_5 = A_6 = 1 ;$$

$$A_2 = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{l_{н2}} = \frac{105 + 60 + 36}{300} = 0,67 ;$$

$$A_3 = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{l_{н3}} = \frac{105 + 60 + 36}{100} = 2,01;$$

$$A_5 = \frac{l_2 + l_3}{l_{н5}} = \frac{60 + 36}{100} = 0,96;$$

$$A_7 = \frac{l_3}{l_{н7}} = \frac{36}{100} = 0,36.$$

Полученные данные заносим в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Данные для расчета величины биения инструментального блока

Погрешность	Вид ошибки	$e_i$	$K_i$	$A_i$
1 Смещение конического отверстия в шпинделе	Векторная	4 мкм	1,17	1
2 Перекос оси отверстия шпинделя	Угловая	1 мкм / 300 мм	1,1	0,67
3 Перекос в коническом соединении базового блока и шпинделя	Угловая	2,5 мкм / 100 мм	1,51	2,01
4 Смещение цилиндрического отверстия базового блока к оси конуса 7:24	Векторная	5,0 мкм	1,09	1
5 Перекос в соединении базового блока и оправки	Угловая	4,3 мкм / 100 мм	1,09	0,96
6 Смещение оси конической поверхности оправки к оси цилиндрического хвостовика	Векторная	5,0 мкм	1,17	1
7 Перекос в цилиндрическом соединении оправки и хвостовика	Угловая	2,5 мкм / 100 мм	1,17	0,36

Погрешность позиционирования вершины лезвия инструмента, равная половине биения, при установке блока в шпиндель станка рассчитывается по формуле [7, с. 38]

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \cdot \sqrt{\sum_1^n (e_i \cdot K_i \cdot A_i)^2},$$

где  $e_{\Sigma}$  – половина допуска биения режущей части как замыкающего звена;

$K_{\Sigma}$  – коэффициент относительного рассеивания замыкающего звена;

$n$  – число элементов инструментального блока, влияющих на точность позиционирования;

$e_i A_i$  – принятое за скалярную величину произведение векторной величины  $e_i$  на свое передаточное отношение  $A_i$ ;

$K_i$  – коэффициент относительного рассеивания размеров присоединительных поверхностей вспомогательного инструмента.

Величина  $K_{\Sigma}$  рассчитывается по формуле [7, с. 39]

$$K_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{\sum_1^n e_i} \cdot \left[ \sqrt{\sum_1^n (\bar{e}_i \cdot K_i)^2} - \sqrt{\sum_1^n (\bar{e}_i)^2} \right].$$

Рассчитаем величину  $K_{\Sigma}$ :

$$K_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{4 + 1 + 2,5 + 5 + 4,3 + 5 + 2,5} \times \\ \times \left[ \sqrt{(4 \cdot 1,17)^2 + (1 \cdot 1,1)^2 + (2,5 \cdot 1,51)^2 + (5 \cdot 1,09)^2 + (4,3 \cdot 1,09)^2 + (5 \cdot 1,17)^2 + (2,5 \cdot 1,17)^2} - \right. \\ \left. - \sqrt{4^2 + 1^2 + 2,5^2 + 5^2 + 14^2 + 5^2 + 2,5^2} \right] = 1 + \frac{0,55}{24,3} \cdot [\sqrt{131,81} - \sqrt{97,99}] = 1,035.$$

Рассчитаем погрешность позиционирования вершины инструмента:

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{1,035} \times \\ \times \sqrt{(4 \cdot 1,17 \cdot 1)^2 + (1 \cdot 1,1 \cdot 0,67)^2 + (2,5 \cdot 1,51 \cdot 2,01)^2 + (5 \cdot 1,09 \cdot 1)^2 + (4,3 \cdot 1,09 \cdot 0,96)^2 + (5 \cdot 1,17 \cdot 1)^2 + (2,5 \cdot 1,17 \cdot 0,36)^2} = \\ = \frac{1}{1,035} \cdot \sqrt{165,3} = 12,42 \text{ мкм}$$

Рассчитанная погрешность позиционирования меньше допускаемой:

$$2e_{\Sigma} = 24,84 \text{ мкм} = 0,02484 < 0,056 = [2e_{\Sigma}].$$

Разработанный инструментальный блок обеспечивает заданную точность позиционирования.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Технологическая система.
- 2 Факторы, влияющие на точность позиционирования инструментального блока.
- 3 Погрешности инструментального блока.



#### 4 Расчет податливости инструментального блока

Рассчитать податливость инструментального блока, состоящего из втулки с конусом 7 : 24, изготовленной с точностью АТ7, и оправки  $D$  (таблица 4.1). Оправка нагружена радиальной силой  $P = 1$  кН (рисунок 4.1).

Таблица 4.1 – Исходные данные для выполнения задачи

Номер варианта	Диаметр $D$ , мм	Длина $l_1$ , мм	Длина $l_2$ , мм	Длина $l_3$ , мм	Длина $l_4$ , мм
1	100	88	100	190	247
2	48	36	60	90	241
3	85	78	90	180	354
4	60	53	78	110	300
5	78	70	90	200	350
6	68	62	97	246	300
7	100	86	90	213	480
8	88	82	90	210	540
9	70	62	75	210	241
10	40	31	60	180	540
11	120	122	60	210	240
12	115	10	86	170	650
13	86	70	20	210	780
14	170	55	60	180	540
15	82	74	80	100	240
16	76	62	70	90	298
17	120	16	40	80	245
18	150	38	50	100	246
19	96	84	90	120	243
20	56	46	50	90	249
21	100	88	100	190	247
22	48	36	60	90	241
23	85	78	90	180	354
24	60	53	78	110	300
25	78	70	90	200	350

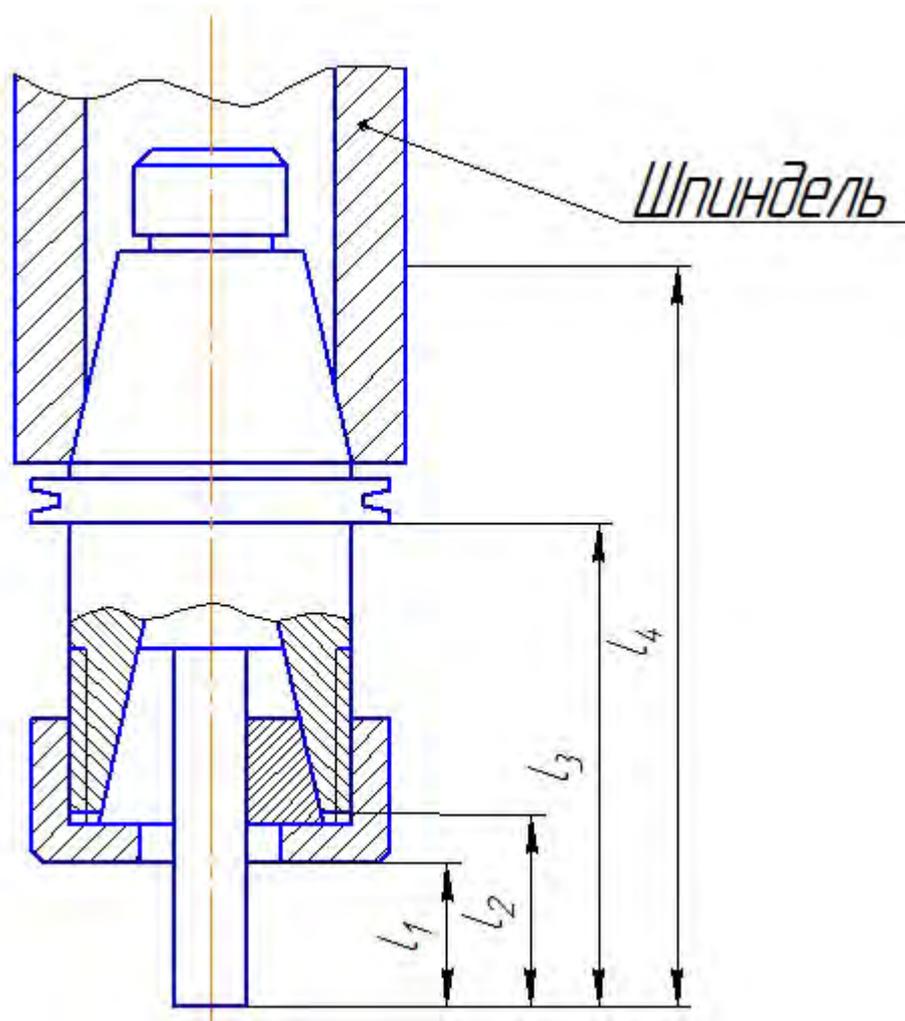


Рисунок 4.1 – Инструментальный блок

**Пример** – Точность обработки зависит от деформации инструментальных блоков. Деформации инструментальных блоков регламентируются допустимой податливостью, т. е. деформацией блока в точке приложения силы. Допустимая податливость для оправки, установленной в инструментальном блоке,  $[П] = 0,153$  мкм/Н.

Рассчитаем податливость резца, установленного на оправке, закрепленной в шпинделе станка с ЧПУ.

### Решение

Определим податливости  $\Theta_i/M$ , кН·м, для всех соединений инструментального блока, используя данные [7, с. 42].

Результаты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Данные для расчета

Вид соединения	Податливость $\Theta_i/M$ , кН·м
Конус 7:24	0,00035
Цилиндрическое соединение D36	0,0032
Цилиндрическое соединение D9	0,0026

Рассчитаем величину деформации инструментального блока под действием силы, нормальной к его оси, определяемую по формуле

$$\delta_g = P \sum_1^n \left[ \frac{\left( \sum_i^n l_i \right)^3 \cdot 10^9}{3EI_i} + \frac{\theta_i}{10^3 M} \left( \sum_i^n l_i \right)^2 \right],$$

где  $P$  – нагружающая сила, Н;

$l_i$  – длина  $i$ -го элемента инструментального блока, мм;

$n$  – число элементов инструментального блока;

$E$  – модуль продольной упругости,  $E = 2,1 \cdot 10^4$  Па;

$I_i$  – осевой момент инерции  $i$ -го элемента, мм,  $I_i = \pi D^4/64$ ;

$\Theta_i/M$  – податливость  $i$ -го соединения, кН·м.

Податливость инструментального блока определяется по формуле

$$\Pi = \frac{\delta_g}{P}.$$

Рассчитаем величину деформации инструментального блока:

$$\begin{aligned} \delta_g &= P \cdot \left\{ \left[ \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^3 \cdot 10^9}{3 \cdot E \cdot \frac{\pi D_1^4}{64}} + \frac{\theta_1}{10^3 M} (l_1 + l_2 + l_3)^2 \right] + \left[ \frac{(l_2 + l_3)^3 \cdot 10^9}{3 \cdot E \cdot \frac{\pi D_2^4}{64}} + \frac{\theta_2}{10^3 M} (l_2 + l_3)^2 \right] + \right. \\ &+ \left. \left[ \frac{(l_3)^3 \cdot 10^9}{3 \cdot E \cdot \frac{\pi D_3^4}{64}} - \frac{\theta_3}{10^3 M} (l_3)^2 \right] \right\} = 1000 \cdot \left\{ \left[ \frac{(105 + 60 + 36)^3 \cdot 10^9}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\pi \cdot 69,85^4}{64}} + \frac{0,00035}{10^3} (105 + 60 + 36)^2 \right] + \right. \\ &+ \left. \left[ \frac{(60 + 36)^3 \cdot 10^9}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\pi \cdot 36^4}{64}} + \frac{0,0032}{10^3} \cdot (60 + 36)^2 \right] + \left[ \frac{(36)^3 \cdot 10^9}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\pi \cdot 9^4}{64}} + \frac{0,0026}{10^3} \cdot (36)^2 \right] \right\} = \\ &= 1000 \cdot \{ [0,011 + 0,0141] + [0,017 + 0,029] + [0,023 + 0,003] \} = \\ &= 1000 \cdot 0,0971 = 97,1 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

Рассчитаем податливость инструментального блока по формуле

$$\Pi = \frac{\delta_g}{P} = \frac{97,1}{1000} = 0,0971 \text{ мкм/Н}.$$

Рассчитанная податливость инструментального блока меньше допускаемой:

$$\Pi = 0,0971 \text{ мкм / Н} < 0,153 \text{ мкм/Н}.$$



Разработанный инструментальный блок обеспечивает заданную точность обработки.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Технологическая система.
- 2 Предметы производства в технологической системе.
- 3 Допустимая податливость инструментального блока.

## **5 Расчет потребного количества режущего и вспомогательного инструмента в условиях автоматизированного производства**

Участок инструментальной подготовки автоматизированного производства включает в себя, как правило, две секции [5]: секцию сборки и настройки инструмента и секцию обслуживания инструментом рабочих мест (встречается определение как инструментально-раздаточная кладовая (ИРК)).

Секция сборки и настройки инструментов предназначена для сборки и настройки комплектов инструментов, а также передачи настроенного инструмента в секцию обслуживания инструментами рабочих мест (ИРК).

Секция обслуживания инструментами предназначена для своевременного обеспечения производственных участков настроенными инструментами в соответствии с производственной программой. В состав секции входят:

- участок хранения и комплектации инструментов;
- участок доставки инструмента к рабочим местам;
- участок разборки отработавшего инструмента.

Остальные функции системы инструментального обеспечения, такие как восстановление (заточка) инструмента, ремонт вспомогательной оснастки и др., входят в задачи служб централизованного инструментального склада (ЦИС).

Расчет и построение участков инструментального обеспечения производится исходя из потребного числа оборотного фонда инструментов производственных участков по выполнению производственной программы цехом.

**Расчет величины оборотного фонда инструментов.** При построении системы инструментального обеспечения автоматизированных производственных участков за основу принята система централизованного обеспечения технологического оборудования комплектами заранее настроенных инструментов в соответствии с производственной программой выпуска, а также выполнение всех вышеуказанных функций системы инструментального обеспечения.

Номенклатуру режущего инструмента устанавливают исходя из разработанных технологических процессов изготовления изделий, а их количество определяют следующим образом.

Минимальную величину оборотного фонда режущего инструмента  $H_\phi$  каждого типоразмера определяют по формуле

$$H_\phi = I_1 + I_2 + I_3, \quad (5.1)$$



где  $I_1$  – число комплектов инструмента на рабочем месте, шт.;  
 $I_2$  – число комплектов на восстановлении и настройке, шт.;  
 $I_3$  – страховой запас в системе инструментального обеспечения, шт.

В страховом запасе наибольшее количество составляет инструмент с малой стойкостью (метчики, развертки и т.д.).

Минимальный оборотный фонд определяют по нормативам в зависимости от числа замен за смену и одновременно работающих инструментов. Для роботизированного производства минимальный оборотный фонд  $H_{min}$ , шт./смену, может быть определен по таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Минимальный оборотный фонд инструмента

Инструмент	Норма времени пребывания на восстановлении, ч	Стойкость режущей кромки, ч	Число одновременно работающих инструментов данного номенклатурного ряда на одном рабочем месте, шт.					
			1	2	3	4	5	6
Резцы; сверла; развертки; зенкеры; зенковки; метчики; фрезы концевые, пазовые	4,0	1	10	10	28	36	45	54
		1,5	8	15	23	29	36	43
		2,0	6	11	17	22	27	32
		4,0	5	9	14	18	22	27
		8,0 и более	4	7	11	14	18	22
Резцы фасонные, пластинчатые, сверла ступенчатые; зенкеры сложные; развертки сборные; фрезы цилиндрические	8,0	1,5	14	27	40	50	63	–
		2,0	10	19	28	36	45	–
		4,0	6	11	17	22	27	–
		8,0 и более	4	7	11	14	–	–
Блоки расточные; фрезы со вставными ножами диаметром до 300 мм; головки расточные	12,0	2,0	14	27	40	–	–	–
		4,0	8	15	23	–	–	–
		8,0 и более	5	9	14	–	–	–

Максимальный оборотный фонд инструмента

$$H_{max} = H_f + H_n, \quad (5.2)$$

где  $H_n$  – норма расхода инструмента за выбранный промежуток времени, шт.

Оборотный фонд вспомогательного инструмента устанавливают из расчета



два комплекта в секции обслуживания, два комплекта настроенного инструмента на каждый станок.

В поточном производстве принимают декадную норму расхода инструмента (на 10 дней), которую определяют по «точной» программе выпуска на основании технологических процессов, разработанных для изделий всех наименований. Из общего времени технологического процесса выявляют время формообразования каждым типоразмером инструмента и определяют декадную норму расхода следующим образом:

$$H_n = T_{c.ф} / T_d, \quad (5.3)$$

где  $T_{c.ф}$  – суммарное время формообразования данным типоразмером инструмента всех деталей за декаду, ч;

$T_d$  – действительное время службы данного типоразмера инструмента (с учетом всех возможных повторных заточек), ч.

Продолжительность работы повторно затачиваемого инструмента определяют в следующем порядке. Делением длины рабочей части инструмента  $L$ , мм, на величину допустимого стачивания  $l$ , мм, рабочей части инструмента за одну повторную заточку получают возможное число повторных заточек инструмента до полного использования его рабочей части:  $m = L / l$ . Далее, умножив время  $T$  допустимой работы инструмента без повторной заточки (т. е. принятую стойкость) на число повторных заточек инструмента до полного использования его рабочей части и прибавив к этому произведению время работы до первой заточки, получают расчетное время работы инструмента  $T_p = T(m+1)$ .

При определении действительного времени  $T_d$ , ч, работы инструмента для учета случайных поломок вводят коэффициент  $\eta$ :

$$T_d = T_p \eta, \quad (5.4)$$

где  $\eta$  – коэффициент запаса по убыли,  $\eta = 1,05 \dots 1,10$  [5].

В роботизированном производстве, как уже указывалось, принимают месячную норму расхода инструмента из расчета 40 рабочих смен (305 ч), которую определяют по каждому виду инструмента по нормативам таблицы 5.1, а величину нормы расхода принимают  $H_n = 1$  по каждому типоразмеру инструмента для каждой смены.

Таким образом, величина месячного оборотного фонда инструмента  $H_K$  по каждому станку в ГПС составит:

$$H_K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p H_{ij} \cdot 40, \quad (5.5)$$

где  $H_{ij}$  – оборотный фонд  $j$ -го вида инструмента по обработке  $i$ -й детали;

$p$  – число инструментов (инструментальных блоков) по обработке  $i$ -й детали;

$m$  – количество деталей разного наименования (номенклатура), проходя-



щих обработку на станке рассматриваемого типоразмера.

Величину месячного оборотного фонда каждой инструментальной наладки  $H_{ij}$  принимают по нормативам (см. таблицу 5.1) с учетом одной дополнительной наладки по каждому виду инструмента, т. е.

$$H_{ij} = (K_{ij} + 1), \quad (5.6)$$

где  $K_{ij}$  – нормативное значение оборотного фонда инструмента (инструментальных блоков) из [5], шт./смену.

Суммарный оборотный фонд инструмента для всего станочного комплекса ГПС в месяц составит:

$$H_{\Sigma} = \sum_{K=1}^n H_K, \quad (5.7)$$

где  $n$  – принятое число станков в станочном комплексе ГПС.

**Пример** – Определить суммарный оборотный фонд инструмента по станочному комплексу ГПС, состоящему из  $n = 5$  станков. На каждом из станков обрабатывается  $m = 10$  наименований деталей, требующих для обработки по  $p = 7$  разных инструментальных блоков (инструментов) со средним периодом стойкости  $T = 60$  мин, с нормой пребывания на переточке и наладке (восстановлении) 4 ч.

*Решение*

По таблице 5.1 и по формуле (5.6) находим величину оборотного фонда  $j$ -го вида инструмента за одну смену:

$$H_{ij} = (10 + 1) = 11 \text{ инструментов/смену.}$$

По формуле (5.5) находим величину оборотного фонда инструмента за месяц по каждому типоразмеру  $K_i$  станков:

$$H_K = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^7 11 \cdot 40 = 11 \cdot 40 \cdot 7 \cdot 10 = 30800 \text{ инструментов/станок.}$$

По формуле (5.7) находим величину суммарного оборотного фонда, потребного для обработки месячной производственной программы обработки деталей на ГПС:

$$H_{\Sigma} = \sum_{K=1}^5 30800 = 5 \cdot 30800 = 154000 \text{ инструментов.}$$

Доставка и установка режущего инструмента в станках токарной группы



осуществляется в основном транспортными рабочими. При автоматической доставке инструментальный блок на рабочую позицию поступает в таре в строго фиксированном положении. Промышленный робот берет блок из тары и укладывает на промежуточный стол. Затем снимает его со станка и помещает в тару. После этого берет новый блок с промежуточного стола и устанавливает его на рабочее место. Правильность положения закрепленного инструментального блока контролируется системой управления станком. Извлеченный из станка блок отправляется в унифицированной таре в отделение разборки инструмента транспортной системой цеха или рабочим.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Секции инструментального участка.
- 2 Состав секции обслуживания.
- 3 Назначение секции сборки инструментов.



## 6 Полировальная линия Pulimetal Cittadini TCLP MOAO «Красный металлист»

### *Цель работы*

- 1 Ознакомление с технологической системой и ее особенностями.
- 2 Изучение конструкции полировальной линии Pulimetal Cittadini.
- 3 Изучение технологической схемы обработки на полировальной линии Pulimetal Cittadini.

### *6.1 Основные положения*

**Технологическая система** – это совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

К предметам производства относятся: материал, заготовка, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний.

К регламентированным условиям производства относятся: регулярность поступления предметов производства, параметры энергоснабжения, параметры окружающей среды и др.

Следует различать четыре иерархических уровня технологических систем: технологические системы операций, технологические системы процессов, технологические системы производственных подразделений и технологические системы предприятий.

Исполнитель в технологической системе – это человек, осуществляющий в технологической системе трудовую деятельность по непосредственному изменению и (или) определению состояния предметов производства, техническому обслуживанию или ремонту средств технологического оснащения. Подсистема технологической системы – это технологическая система, выделяемая по функциональному или структурному признаку из технологической системы более высокого уровня.

Технологический комплекс – это совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Элемент технологической системы – это часть технологической системы, условно принимаемая неделимой на данной стадии ее анализа: машина, приспособление, инструмент.

Работоспособное состояние технологической системы – это состояние технологической системы, при котором значения параметров и (или) показателей качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, уста-



новленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

### ***Конструкция полировальной линии Pulimetal Cittadini***

**Полировальная линия Pulimetal Cittadini TCLP** (рисунок 6.1) предназначена для шлифовки и полировки столовых приборов.



Рисунок 6.1 – Полировальная линия Pulimetal Cittadini TCLP 6+5+3

#### **Оборудование, оснастка.**

1 Полировальная линия Pulimetal Cittadini TCLP 6+5+3 состоит из следующих узлов:

- 14 полировальных станков;
- три поворотных стола;
- два автоматических устройства переноса;
- загрузочное устройство; разгрузочное устройство;
- электрощит; пульт управления.

2 Тара технологическая ЯНКД-1.01.000; ЯСП-5.01.00.

3 Резец Р-01.00.

4 Шкаф сушильный СШ-01.00.000.

#### **Материалы:**

- паста полировальная предварительная Liquid compound type F201 colour WHITE CREAM (П);
- паста полировальная окончательная Liquid compound type L301 colour LIGHT BLUE (О).

### *Технологическая схема обработки на полировальной линии Pulimetal Cittadini*

Технологическая схема обработки на полировальной линии Pulimetal Cittadini представлена на рисунке 6.2. Для каждого станка предназначена своя область обрабатываемой поверхности изделия (рисунки 6.3 и 6.4), а также направления вращения валов при обработке.

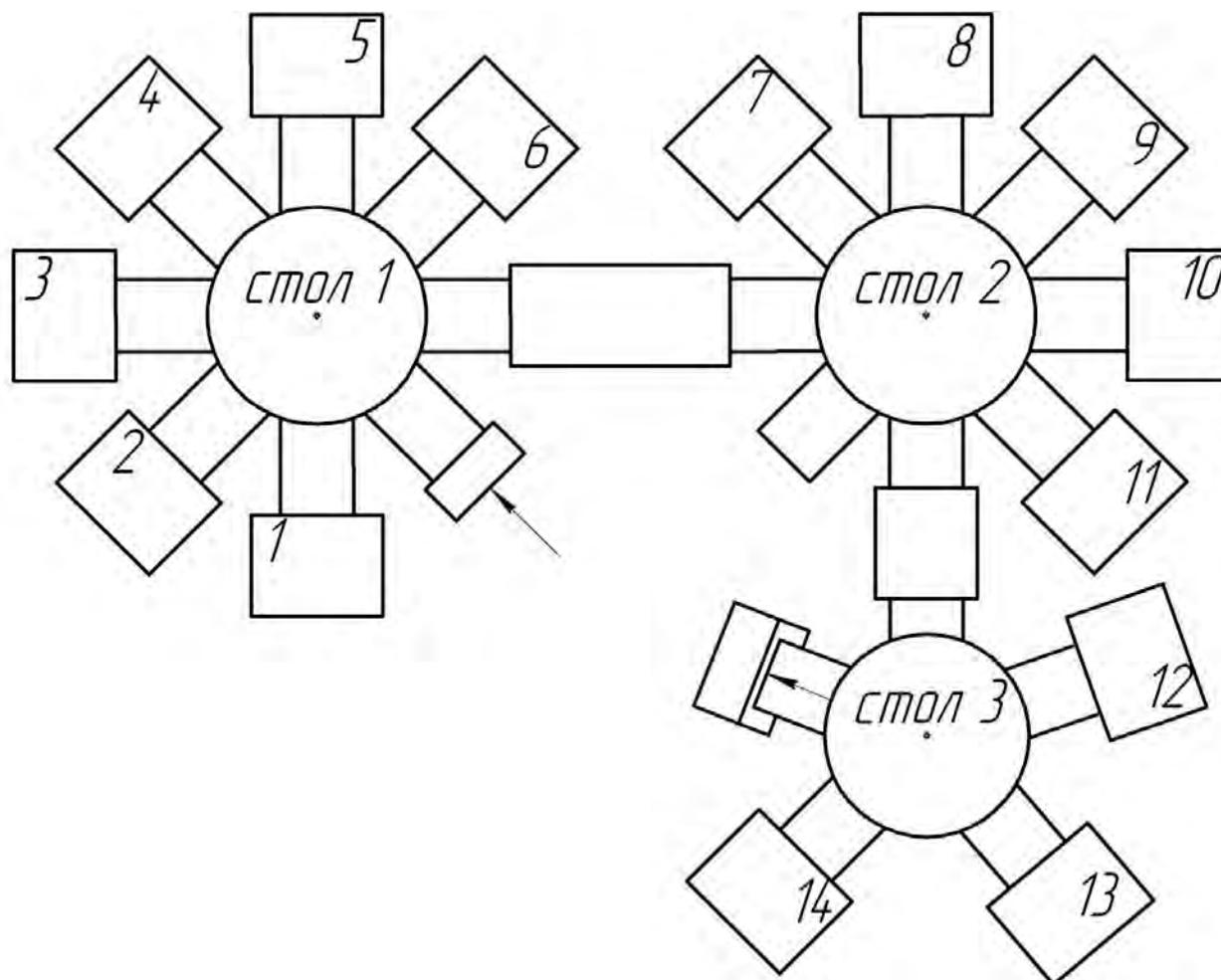


Рисунок 6.2 – Технологическая схема обработки на полировальной линии Pulimetal Cittadini

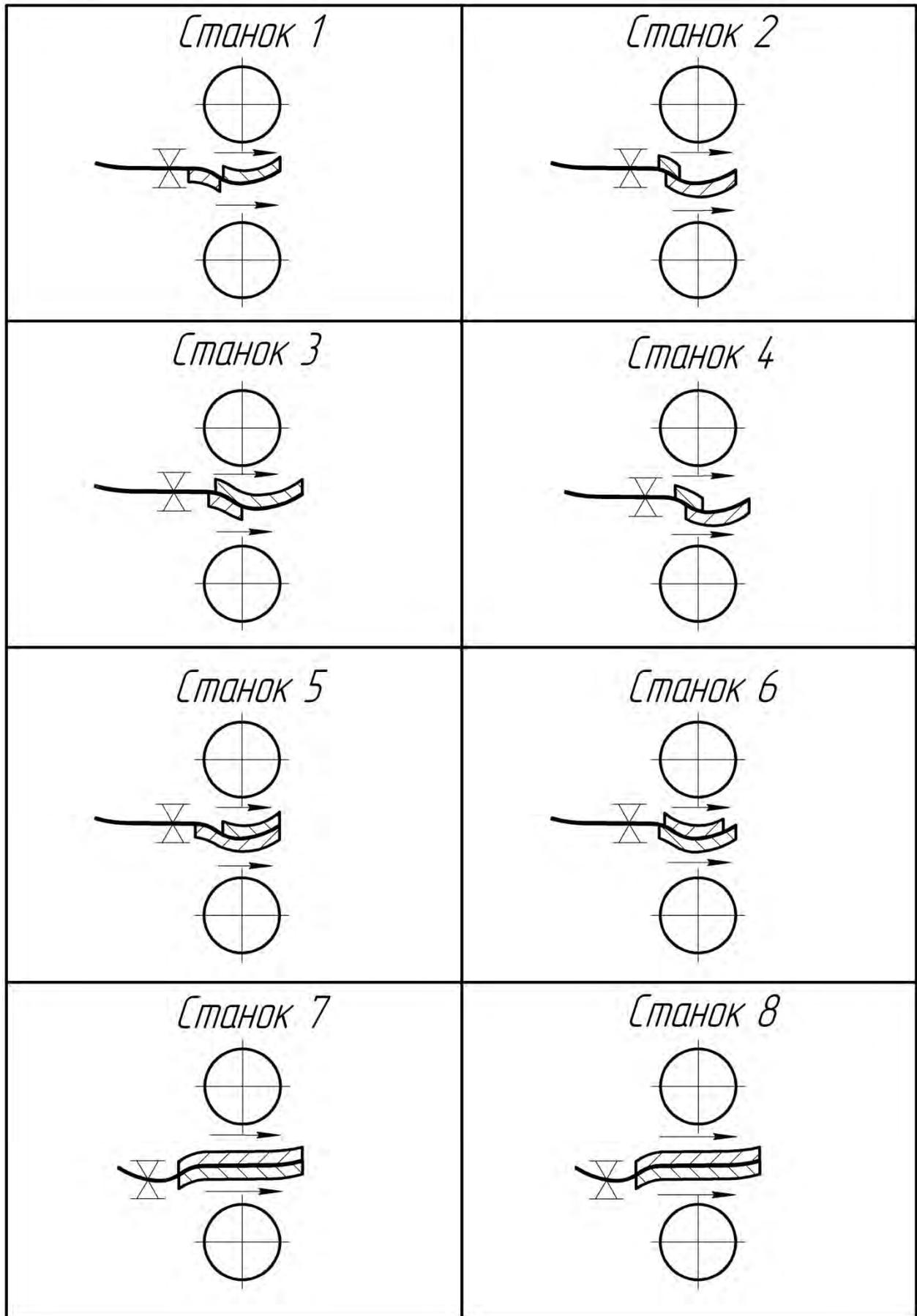


Рисунок 6.3 – Области обрабатываемой поверхности изделия

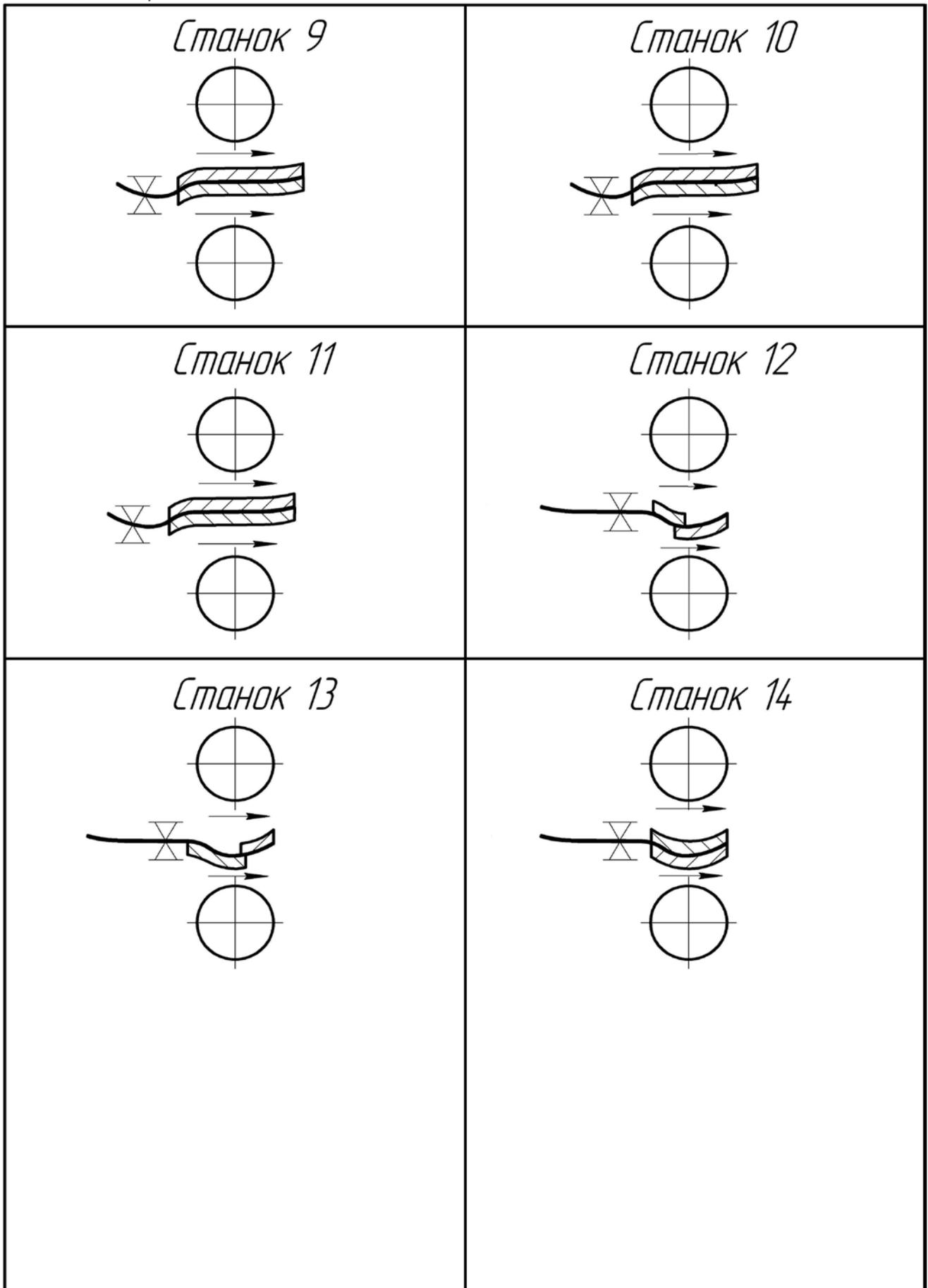


Рисунок 6.4 – Области обрабатываемой поверхности изделия

**Наладка станка.** Каждый полировальный станок снабжен пультом управления для ручной регулировки (рисунок 6.5). Пульты управления активированы только тогда, когда переключатель «Обслуж.» находится в режиме «Вкл.».

Конфигурация пульта:

– кнопка «Ручной тест» служит для выполнения полного рабочего цикла полировочного блока. Следует держать кнопку нажатой, чтобы выполнялся цикл блока. При отпуске кнопки до окончания цикла полировочный блок останавливается;

– кнопка с подсветкой «Запуск щетка ВВЕРХ» служит для включения электродвигателя, вращающего верхнюю щетку. Зеленая лампочка включена, когда щетка вращается;

– кнопка с подсветкой «Запуск щетка ВНИЗ» служит для включения электродвигателя, вращающего нижнюю щетку. Зеленая лампочка включена, когда щетка вращается;

– кнопка «Стоп щетка» служит для остановки привода щетки.



Рисунок 6.5 – Пульт управления ручной регулировки станка

Продольное смещение вала обеспечивается приводным эксцентриком, ход которого регулируется вручную с помощью винта, расположенного на самом эксцентрике. Блок продольного эксцентрика снабжен бесконтактным выключателем для подсчета рабочих циклов. Этот параметр регулируется с пульта управления исходя из обрабатываемой детали.

**Контроль качества.** Контроль качества полированной поверхности производить визуально: исполнителю – 100 %; контролеру – 0,5 % от партии. Непрополированные места, заусенцы, пригары не допускаются.

В связи с постепенным износом кругов могут возникать непрополированные участки. В случае их возникновения производить регулировку валков.

### ***Порядок выполнения работы***

- 1 Ознакомиться с технологической системой и ее особенностями.
- 2 Ознакомиться с конструкцией полировальной линии Pulimetal Cittadini.
- 3 Изучить технологическую схему обработки на полировальной линии Pulimetal Cittadini.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Технологическая система и ее особенности.
- 3 Конструкция полировальной линии Pulimetal Cittadini.
- 4 Схема обработки на полировальной линии Pulimetal Cittadini.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Технологическая система.
- 2 Предметы производства в технологической системе.
- 3 Иерархические уровни технологических систем.
- 4 Конструкция полировальной линии Pulimetal Cittadini.
- 5 Схема обработки на полировальной линии Pulimetal Cittadini.
- 6 Наладка станка на полировальной линии Pulimetal Cittadini.
- 7 Как производится контроль качества полированной поверхности?

## Список литературы

- 1 **Горохов, В. А.** Проектирование и расчет приспособлений / В. А. Горохов. – Минск : Высшая школа, 1986. – 238 с.
- 2 **Кочергин, А. И.** Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учебное пособие для вузов / А. И. Кочергин – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 382 с.
- 3 Проектирование металлорежущих станков и станочных систем / Под общ. ред. А. С. Пронилова. – Москва : МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1994. – 381 с.
- 4 **Кирсанов, Г. Н.** Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учебное пособие для вузов / Г. Н. Кирсанов. – Москва : Машиностроение, 1986. – 288 с.
- 5 Проектирование режущих инструментов : учебное пособие для вузов / В. А. Гречишников [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 300 с.
- 6 **Горбачевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышэйшая школа, 1983. – 256 с.
- 7 Проектирование технологических систем : учебное пособие / Т. А. Аскалонова [и др.] ; под ред. Е. Ю. Татаркина. – Старый Оскол : ТНТ, 2017. – 412 с.

