

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря техническому прогрессу существует возможность использования различной спецтехники во всех сферах деятельности человека. К спецтехнике относятся экскаватор, автокран, бульдозер, автовышка, манипулятор, погрузчик и другие механизмы, появление которых ускорили производственный процесс и сделали его более качественным и надежным.

В основе работы каждого вида спецтехники лежит целая система различных механизмов, которые и отвечают за различные функциональные возможности. Элемент, который присутствует в каждом виде спецтехники, это гидроцилиндр. Существует большое количество различных вариантов данного механизма.

Гидроцилиндром принято называть специальный механизм, используемый в различных отраслях, основная движущая сила которого это вода или масло. Очень часто гидроцилиндр называют объемным двигателем. В любом случае, основная задача гидроцилиндра состоит в том, чтобы преобразовывать энергию потока жидкости в работоспособную энергию.

Самый важный элемент всей конструкции механизма гидроцилиндра - это направляющий винт.

Основная функция, которую выполняет направляющий винт - это соединение и закрепление корпуса механизма, обеспечение надежной фиксации задней крышки и ответной части и объединение всех этих отдельных составляющих в единый механизм. Также он отвечает за регулировку движения, угол наклона и фиксацию.

Направляющие винты, как и все детали пневмо- и гидроцилиндров, постоянно подвергаются серьезным статическим и динамическим нагрузкам. Они эксплуатируются в суровых условиях, испытывают на себе перепады давления и температур.

Именно высокое качество деталей, как и других элементов крепления гидро- и пневмоцилиндров, позволяет обеспечивать бесперебойную работу техники.

Характеристика обрабатываемого материала

Материалом детали является конструкционная легированная сталь 30ХГСА.

Применение легированной стали, повышает долговечность изделия, увеличивает производительность за счет увеличения режимов резания.

Использование стали в промышленности: валы, оси, зубчатые колеса, фланцы, корпуса обшивки, лопасти компрессорных машин, работающие при температуре до 200°C, рычаги, толкатели, ответственные сварные конструкции, работающие при знакопеременных нагрузках, крепежные детали, работающие при низких температурах.

Химический состав стали приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 30ХГСА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
%								
0,28..0,34	0,9..1,2	0,8..1,1	До 0,3	До 0,025	До 0,025	0,8..1,1	До 0,3	~96

где, С – углерод, Si – кремний, Mn – марганец, Ni – никель, S – сера, P – фосфор, Cr – хром, Cu – медь, Fe – железо.

Механические свойства стали по ГОСТ 4543-2016 при нормальной температуре приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства стали 40Х

σ_T	σ_B	δ_5	Ψ	KCU
830 Н/мм ²	1080 Н/мм ²	10%	45%	49 Дж/см ²

где, σ_T – предел текучести, σ_B – временное сопротивление, δ_5 – относительное удлинение, Ψ – относительное сужение, KCU – ударная вязкость.

Закалка стали производится при температуре $T = 880^\circ\text{C}$ (среда охлаждения – масло). Отпуск производится при температуре $T = 540^\circ\text{C}$ (среда охлаждения мало или вода).

Склонность к отпускной хрупкости: склонна.

Твердость стали по шкале Бринеля: HB = 229 МПа.

Обрабатываемость резанием: в горячекатаном состоянии при HB 207-217 и $R_m = 710$ МПа, $K_{v\text{ тв.спл.}} = 0,85$ и $K_{v\text{ б.ст.}} = 0,75$.

Сталь трудносвариваемая.

Анализ технологичности детали.

Проведём качественную оценку.

Заготовка имеет относительно небольшую длину и может быть закреплена лишь в одну призму на фрезерно-центральной операции – технологично.

Изделие представляет собой тело вращения и может быть изготовлено на одном станке – технологично.

Центральное отверстие не имеет канавок и может быть выполнено сверлением и последующим развёртыванием – технологично.

Для образования фаски используется зенковка – технологично, т.к. инструмент достаточно прост.

Отверстие на торце сквозное, имеет малый диаметр, присутствует резьба – нетехнологично.

Имеется свободный доступ инструмента ко всем поверхностям детали за счёт наличия противопинделя в станке – технологично.

Проведём количественную оценку.

Проектированию технологического процесса предшествует анализ технологичности её конструкции, т.к. технологичность конструкции детали имеет прямую связь с: производительностью труда, затратой времени на технологическую подготовку производства, изготовлением, техническим обслуживанием и ремонтом изделия.

Технологичность конструкции изделий – это совокупность признаков, обеспечивающих оптимальные затраты при производстве, эксплуатации и ремонте при заданных показателях качества, объемах выпуска и условиях выполнения работ.

Рассчитаем следующие показатели технологичности детали:

Коэффициент использования материала:

$$K_{им} = \frac{M_d}{M_z} = \frac{3,3}{19,89} = 0,165$$

Т.к. деталь изготавливается из прокатного круга, то потери материала больше. Однако это компенсируется тем, что тип производства – единичный, мелкосерийный.

Коэффициент точности обработки поверхностей:

$$K_{\text{точн.}} = 1 - \left(\frac{1}{A_{\text{ср}}} \right) \geq 0,8$$

$$K_{\text{точн.}} = 1 - \left(\frac{1}{12,28} \right) \geq 0,8$$

$$K_{\text{точн.}} = 0,918 \geq 0,8$$

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum n_i \cdot A_i}{n} = \frac{10 \cdot 14 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 8 + 2 \cdot 7}{14} = 12,28$$

где, $A_{\text{ср}}$ – средний коэффициент поверхностей;

Средняя шероховатость поверхностей:

$$Ra = \sum_1^k \frac{Ra}{k} = \sum_1^{14} \frac{12,5 \cdot 8 + 6,3 \cdot 4 + 1,6 \cdot 2}{14} = 9,2$$

Коэффициент унификации элементов конструкции:

$$K_y = \frac{N_y}{N} = \frac{10}{3} = 0,8$$

Деталь технологична, т.к. $K_{y,э.} > 0,6$.

Анализ требований к точности и шероховатости

Анализ технических требований

Нумерация поверхностей – по часовой стрелке, анализ производится для всех поверхностей детали (рис. 1).

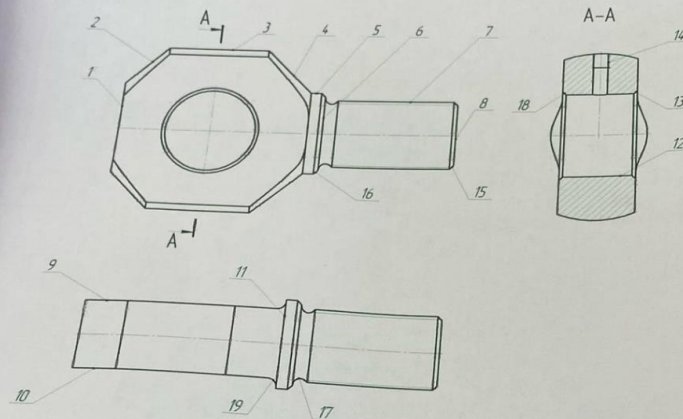
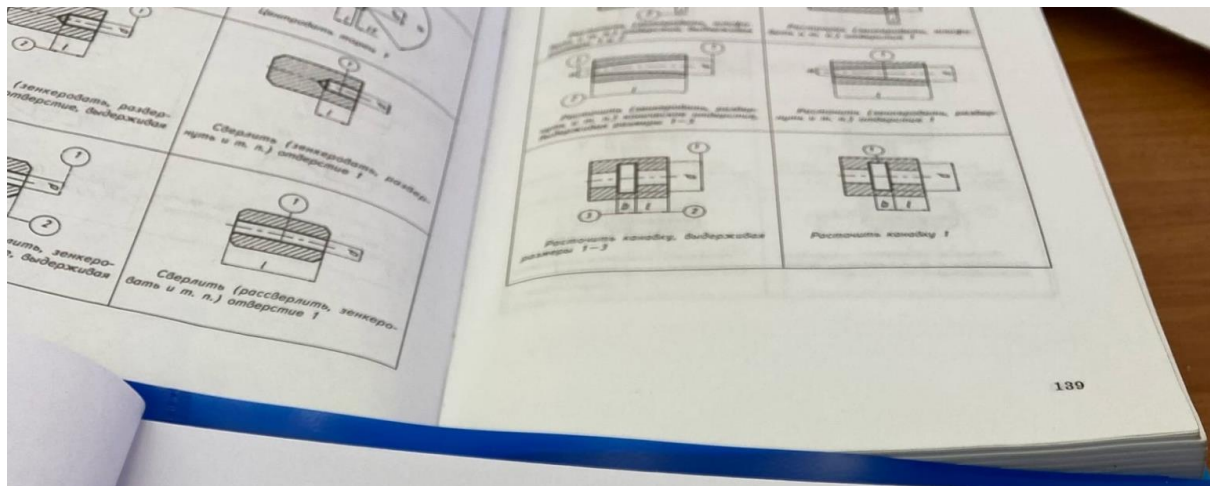


Рисунок 1 – Нумерация поверхностей

В таблице 3 приведён анализ шероховатости и точности детали.

Таблица 3 – Анализ шероховатости и точности детали «Вал»

Поверхность				Стадии обработки			
№	Размер	Квалитет	Ra	Операция	Квалитет	Ra	№ Опер.
1,8	204	14	12,5	Фрезерно-центровальная	12	12,5	015
2	Ø62x45 ⁰	14	12,5	Токарная черновая	12	12,5	025
3	R56	14	12,5	Токарная черновая	12	12,5	025
4	Ø55x45 ⁰	14	12,5	Токарная черновая	12	12,5	020
5	Ø55	14	12,5	Токарная черновая	12	12,5	020
6	80	14	12,5(3,2)	Токарная получистовая	10	6,3	035
				Токарная черновая	12	12,5	020
				Токарная получистовая	10	6,3	035
7	M45	6g	3,2	Токарная чистовая	8	3,2	035
				Токарная черновая	12	12,5	020
				Токарная получистовая	10	6,3	035



				Токарная чистовая	8	3,2	035
9,10	43-0,25	12	12,5	Точение резьбы	6g	3,2	035
11	115	14	12,5	Комплексная	12	12,5	030
12	Ø55K7	7	2,5	Комплексная	12	12,5	030
13,18	2x45°	14	12,5	Комплексная	12	12,5	030
14	M10	7H	3,2	Комплексная	12	12,5	030
15,16	2,5x45°	14	12,5	Комплексная	7H	3,2	030
17	R4	14	12,5	Токарная черновая	12	12,5	035
19	R5	14	12,5	Токарная черновая	12	12,5	035
				Комплексная	12	12,5	030

Выбор метода получения и расчет заготовки.

Заготовка получена в результате обработки Круга 120 ГОСТ 2590-2006/40Х ГОСТ 4543-2016.

Чертеж заготовки показан на рисунке 1.

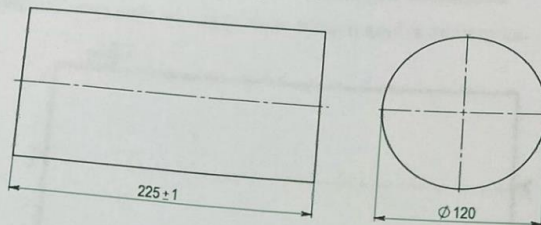


Рисунок 1 – Чертеж заготовки

Номинальный диаметр проката: $\varnothing 120$ мм.

Точность прокатки: Б1.

Площадь поперечного сечения: $113,097 \text{ см}^2$.

Масса 1 м длины проката: 88,781 кг.

Предельное отклонение прутка при точности прокатки Б1: $\varnothing 120^{+0,6}_{-2,0}$

Пруток разрезают на равные заготовки длиной $L=225$ мм на ленточнопильном станке.

Профиль и размеры заготовки: Круг 120×225 мм.

Определим массу заготовки по следующей формуле:

$$m = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho$$

$$m = 3,14 \cdot 60^2 \cdot 225 \cdot 7820 = 19,89 \text{ кг}$$

где, r – радиус поковки;

h – длина поковки;

ρ – удельный вес стали 40Х, $\rho = 7820 \text{ кг/м}^3$.

Масса заготовки: 19,89 кг.

Принятое оборудование: Ленточнопильный станок Cosen SH-7050.

Обоснование выбора черновых и чистовых баз.

При механической обработке деталь закрепляется за необработанные поверхности и производится подготовка поверхностей под чистовые базы, за которые деталь будет закрепляться при последующих операциях.

На рисунке 2 показана черновая база левого конца заготовки.

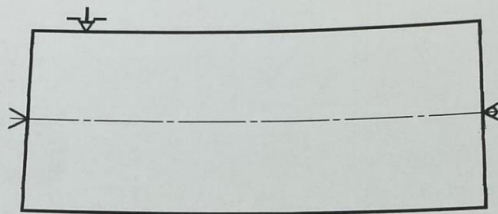


Рисунок 2 – Черновая база левого конца заготовки

На рисунке 3 показана черновая база правого конца заготовки.

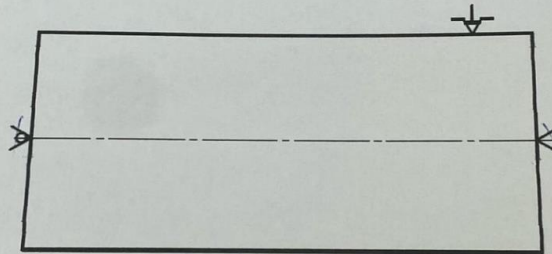


Рисунок 3 – Черновая база правого конца заготовки

На рисунке 3 показана чистовая база левого конца заготовки.

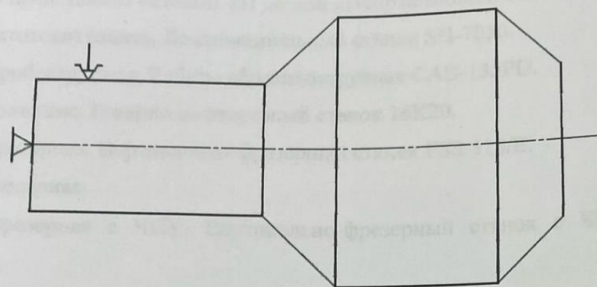


Рисунок 3 – Чистовая база левого конца заготовки

На рисунке 4 показана чистовая база правого конца заготовки.

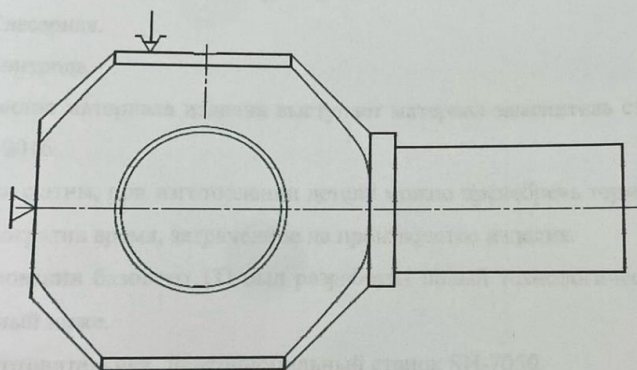


Рисунок 4 – Чистовая база правого конца заготовки

Маршрутный техпроцесс изготовления детали «Направляющий винт»

Ниже представлен базовый ТП детали «Направляющий винт».

005 Заготовительная. Ленточнопильный станок SH-7050.

010 Дробеструйная. Кабина абразивоструйная CAB-135PD.

015 Токарная. Токарно-винторезный станок 16K20.

020 Фрезерная. Вертикально-фрезерный станок FSS 315/E.

025 Слесарная.

030 Фрезерная с ЧПУ. Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ SPINNER MVC1100-A.

035 Токарная с ЧПУ. Токарно-фрезерный станок с ЧПУ DMG MORI NTX1000.

040 Фрезерная. Вертикально-фрезерный станок FSS 315/E.

045 Слесарная.

050 Контроль.

В качестве материала изделия выступает материал-заменитель сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-2016.

В связи с этим, при изготовлении детали можно пренебречь термообработкой, тем самым сократив время, затраченное на производство изделия.

На основании базового ТП был разработан новый технологический процесс, представленный ниже.

005 Заготовительная. Ленточнопильный станок SH-7050.

010 Дробеструйная. Кабина абразивоструйная CAB-135PD.

015 Фрезерно-центровальная. Фрезерно-центровальный станок МР-71.

020 Токарная с ЧПУ правого конца. DMG MORI NTX1000.

025 Токарная с ЧПУ левого конца. DMG MORI NTX1000.

030 Комплексная с ЧПУ. DMG MORI NTX1000.

035 Токарная с ЧПУ правого конца. DMG MORI NTX1000.

040 Слесарная.

045 Контроль

Выбор технологического оборудования.

К средствам технологического оснащения относятся: технологическое оборудование (в том числе контрольное и испытательное); технологическая оснастка (в том числе инструменты и средства контроля); средства механизации и автоматизации технологических процессов.

Выбор технологического оборудования (станков) определяется: методом обработки; возможностью обеспечить точность размеров и формы, а также качество поверхности изготавливаемой детали; габаритными размерами заготовок и размерами обработки; мощностью, необходимой на резание; производительностью и себестоимостью в соответствии с типом производства; возможностью приобретения и ценой станка; удобством и безопасностью работы станка.

Станки с ЧПУ применяются на сверлильных, фрезерных и токарных операциях.

Ниже будут описаны станки, участвующие в технологическом процессе.

Ленточнопильный станок SH-7050

Ленточнопильный станок показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Ленточнопильный станок SH-7050.

Технические характеристики станка:

- максимальные размеры заготовок, мм: круг $\varnothing 500$ мм, квадрат 500×500 мм;
- угол: 90 град.;
- скорость: 20-80 м/мин;

- мощность мотора пилы: 5,5 кВт;
- зажим: гидравлические тиски;
- габаритные размеры (Д×Ш×В): 900×3200×2150 мм;
- вес станка: 1900 кг.

Кабина абразивоструйная САВ-135PD

Кабина абразивоструйная представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Кабина абразивоструйная САВ-135PD.

Технические характеристики:

- внутренние размеры (Ш×Г×В): 1100×800×840 мм;
- наружные габариты (Ш×Г×В): 1220×1340×1990 мм;
- размер дверного проема (Ш×В): 690×840 мм;
- модель абразивоструйного аппарата: CBS-25;
- модель фильтр-камеры: DC-1100;
- модель циклона регенератора: R-350;
- площадь фильтра: 15 м²;
- импульсная очистка фильтрующего эл-та: да;
- электропитание: 1,20 кВт.

Токарно-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ DMG MORI NTX1000

Токарно-фрезерный обрабатывающий центр показан на рисунке 4.



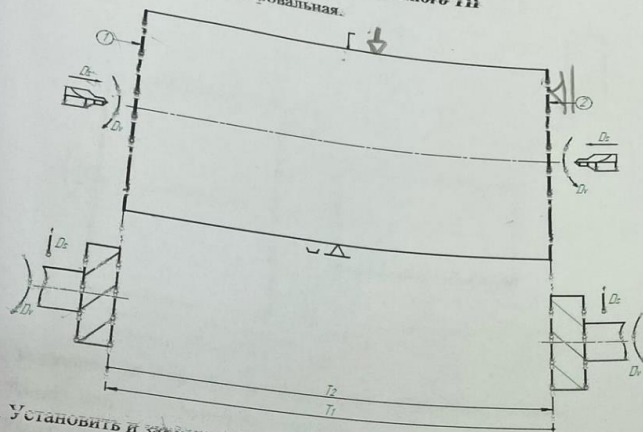
Рисунок 4 – Токарно-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ DMG MORI NTX1000.

Технические характеристики:

- диаметр поворота над станиной: 450 мм;
- диаметр поворота над поперечным суппортом: 450 мм;
- максимальный диаметр точения: 430 мм;
- максимальная длина точения: 800 мм;
- максимальный диаметр обрабатываемого прутка: 65 мм;
- величина хода по осям X/Y/Z: 455/±105/800 мм;
- шпиндель 1:
 1. максимальная скорость вращения: 5000 мм/об;
 2. диаметр проходного отверстия: 73 мм.
- шпиндель 2:
 1. максимальная скорость вращения: 6000 мм/об;
 2. диаметр проходного отверстия: 61 мм;
- инструментальный шпиндель (Револьверная головка 1):
 1. тип конуса: HSK-A50;
 2. максимальная скорость вращения шпинделя: 20 000 мм/об;
 3. инструментальный магазин: 76 шт.;
- револьверная головка 2:

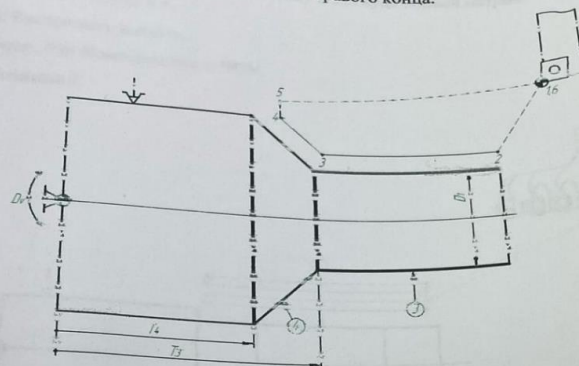
1. размер хвостовика с квадратным сечением: 20 мм;
 2. диаметр хвостовика расточной оправки: макс. 32 мм;
 3. максимальная скорость вращающегося инструмента: 10 000 мм/об;
 4. инструментальный магазин: 10 шт.:
- мощность двигателя привода шпинделя 1 в постоянном режиме: 22 кВт;
 - мощность двигателя привода шпинделя 2 в постоянном режиме: 7,5 кВт;
 - мощность двигателя привода инструментального шпинделя (Револьверная головка 1) в постоянном режиме: 5,5 кВт;
 - мощность двигателя привода револьверной головки 2: 1,2 кВт;
 - габаритные размеры станка (Д×Ш×В) с учетом транспортера стружки: 4550×2500×2495 мм;
 - вес станка: 10 000 кг.

Опер. 015 Фрезерно-центровальная.
Разработка операционного ТП



- А. Установить и закрепить заготовку в призм.
1. Фрезеровать пов-ти 1, 2.
 2. Сверлить центровочные отв-я.
- Б. Раскрепить и снять.

Опер. 020 Токарная черновая с ЧПУ правого конца.

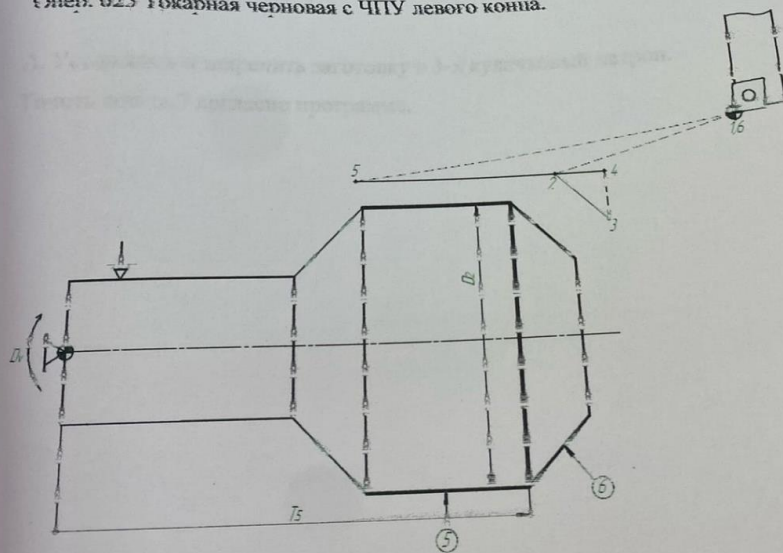


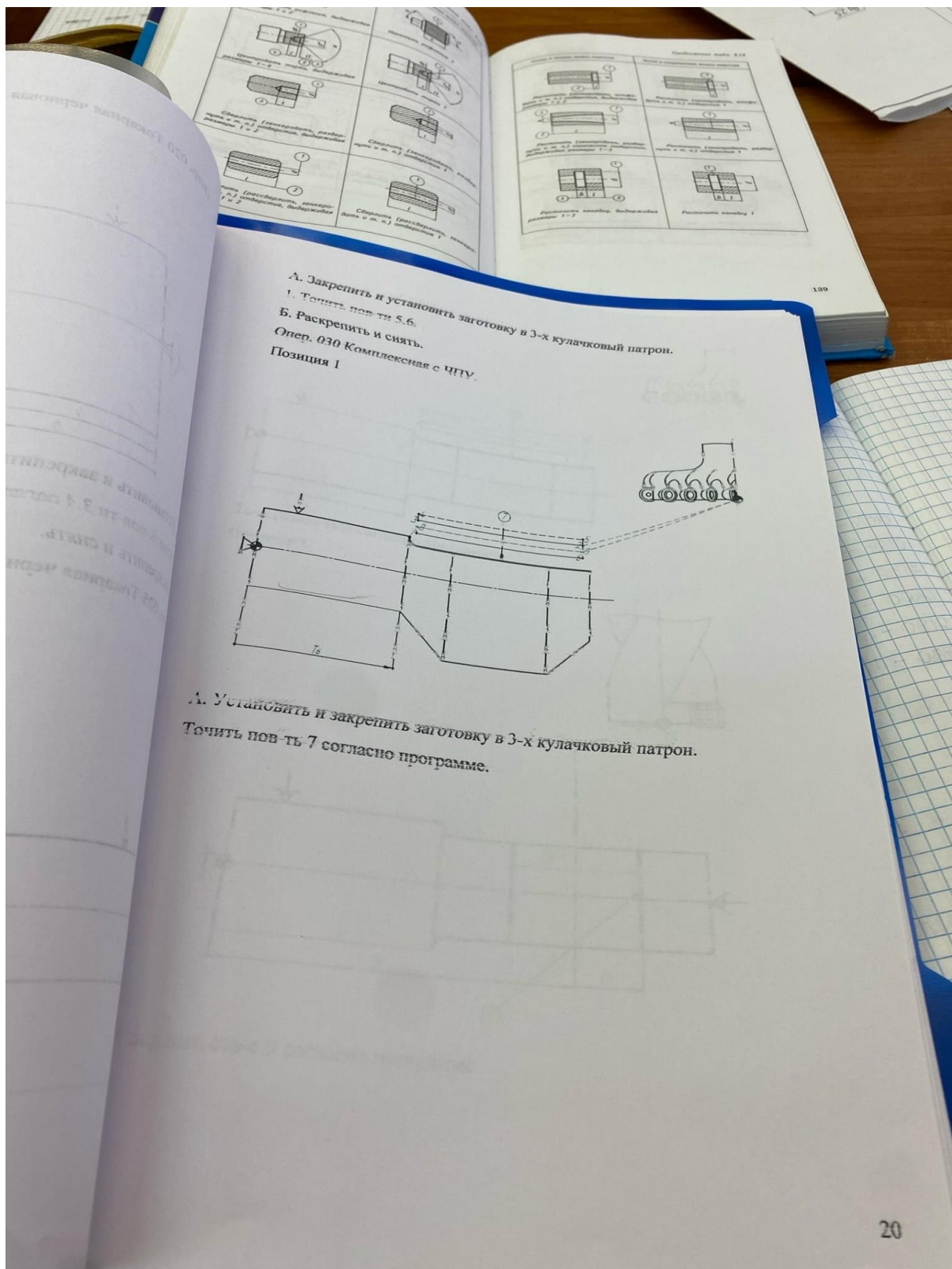
А. Установить и закрепить заготовку в 3-х кулачковый патрон.

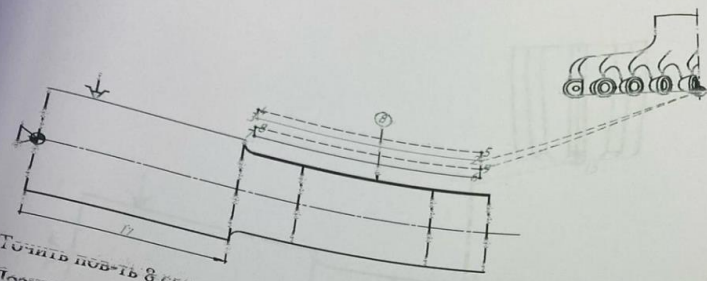
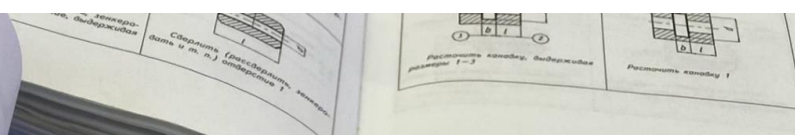
1. Точить пов-ти 3.4 согласно программе.

Б. Раскрепить и снять.

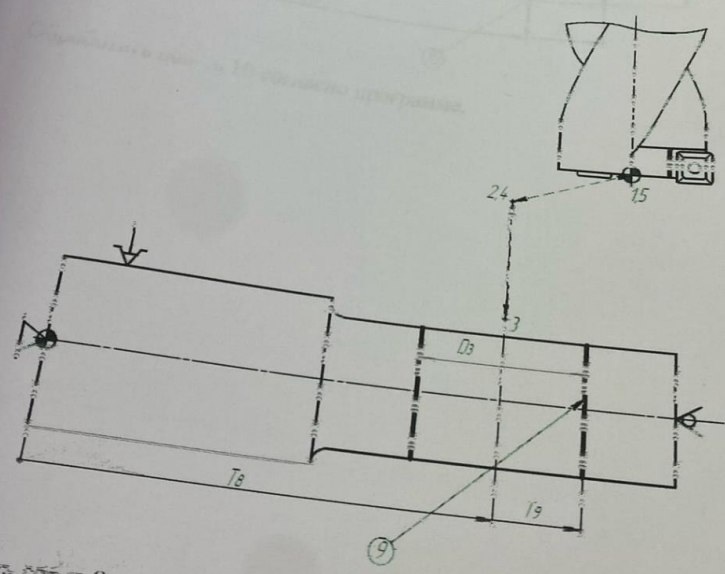
Опер. 025 Токарная черновая с ЧПУ левого конца.





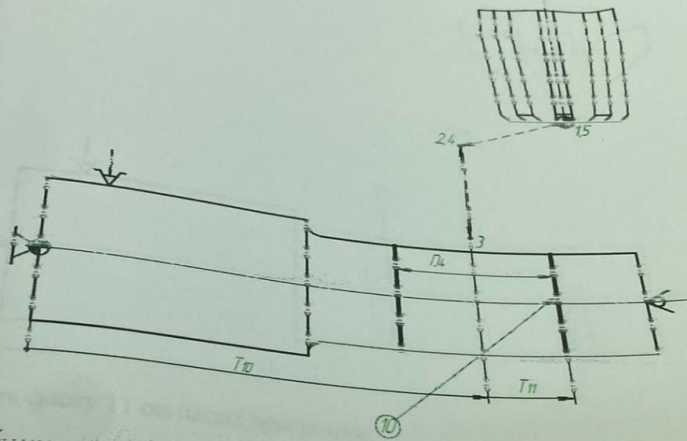


Точить пов-ть 8 согласно программе.
Позиция 2



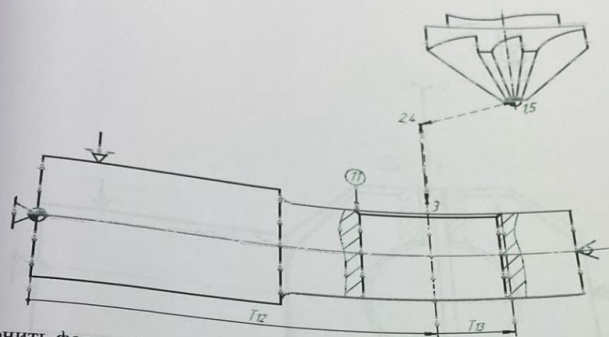
Сверлить отв-е 9 согласно программе.

Позиция 3

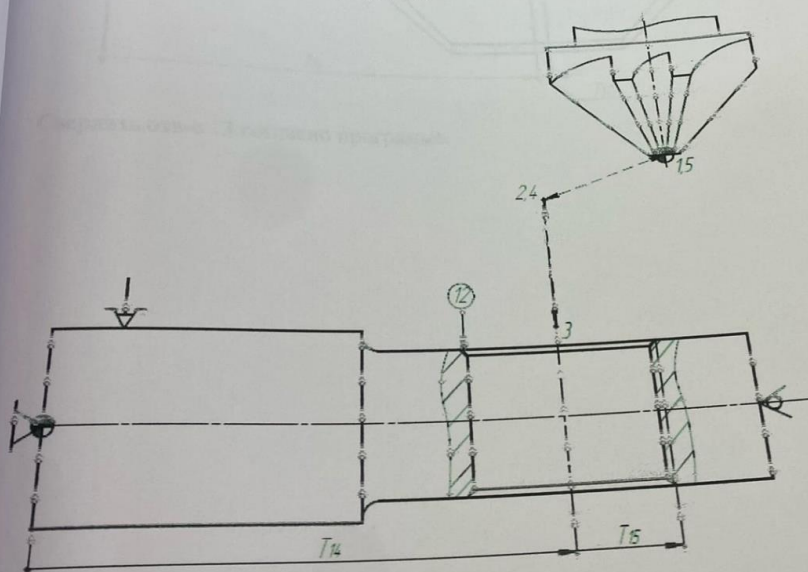


Обработать пов-ть 10 согласно программе.

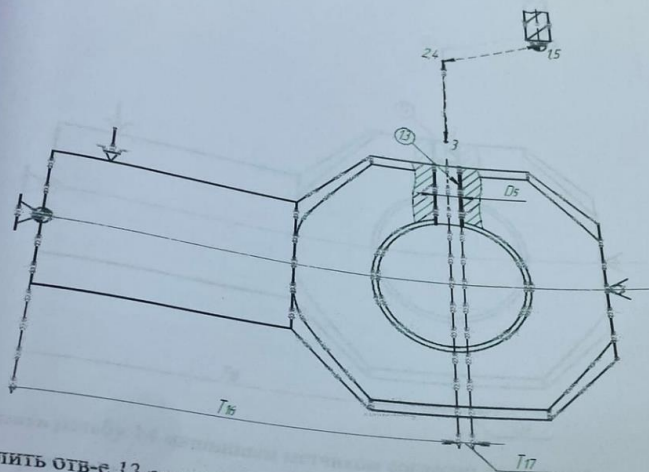
Позиция 4



Точить фаску 11 согласно программе.

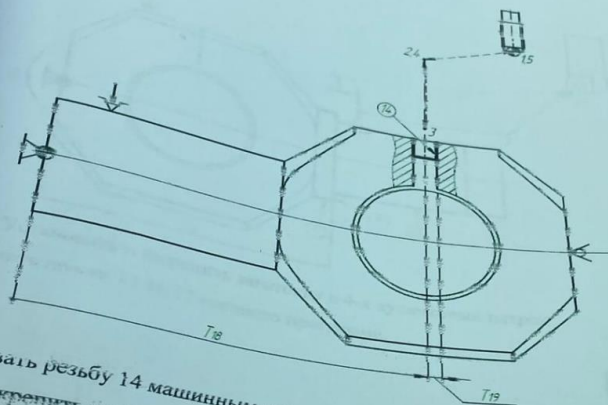


Точить фаску 12 согласно программе.
Позиция 5



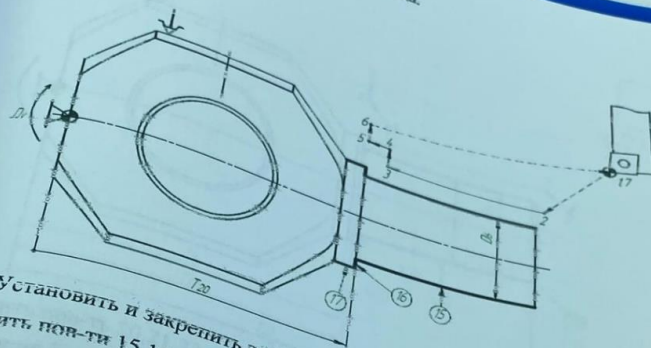
Сверлить отв-е 13 согласно программе.

Позиция 6

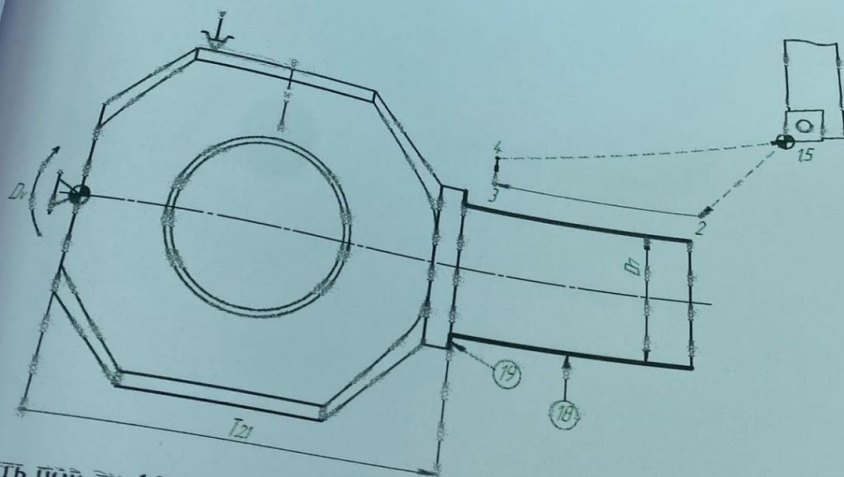


Нарезать резьбу 14 машинным метчиком согласно программе.
Б. Раскренить и снять.

Опер. 035 Токарная с ЧПУ правого конца.
Позиция 1

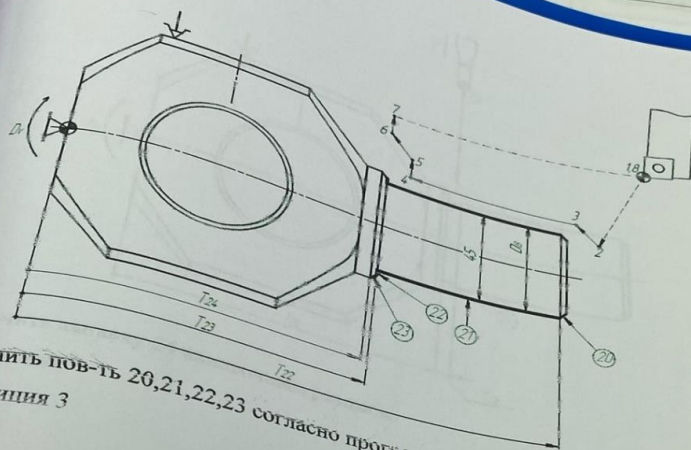


А. Установить и закрепить заготовку в 4-х кулачковый патрон.
Точить пов-ти 15, 16, 17 согласно программе.

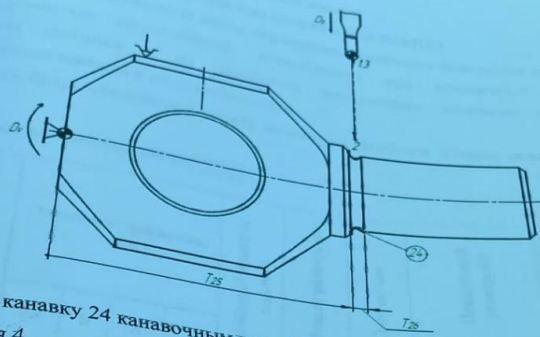


Точить пов-ти 18, 19 согласно программе.

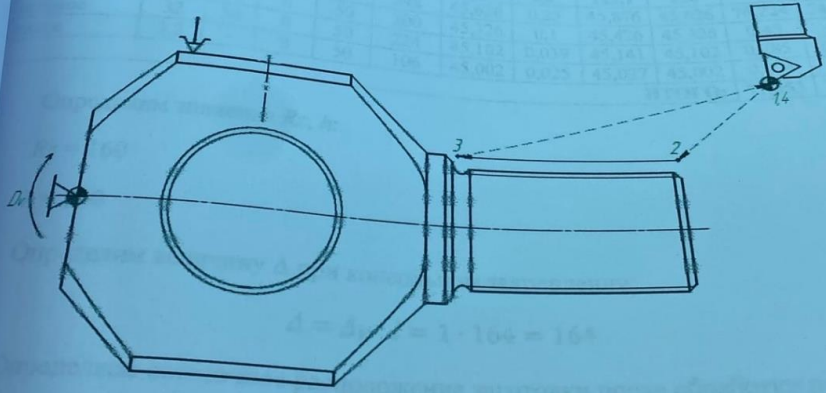
Позиция 2



Точить пов-ть 20,21,22,23 согласно программе.
Позиция 3



Точить канавку 24 канавочным резцом.
Позиция 4



Нарезать резьбу.

$$d_{\text{н}} = K_y \cdot d_f$$

$$d_{\text{н}} = 0,06 \cdot 164 = 9,84$$

$$d_{\text{н}} = 0,05 \cdot 9,84 = 0,492$$

Размерный анализ
 Методом размерного анализа был выбран метод РАМОП.
 Расчётно-аналитический метод определения припусков базируется на анализе производственных погрешностей, возникающих при конкретных условиях получения заготовок и их обработки, определении величины элементов, составляющих припуск и их суммирования.
 Ниже будет представлен расчёт некоторых наиболее точных диаметральных размеров.

1. Расчёт для размера $\varnothing 45k7^{+0,027}_{+0,002}$

Технологические переходы обработки поверхности	Элементы припуска, мкм				Расчётный припуск $Z_{\text{расч}}$, мкм	Расчётный размер, мм	Допуск, мм	Предельный размер, мм		Предельные значения припусков, мм	
	Rz	h	Δ	ε				d_{max}	d_{min}	Z_{max}	Z_{min}
Прокат	160	200	164	—	—	120	2,1	122,1	120	—	—
Черновое	63	60	9,84	—	348	45,626	0,25	45,876	45,626	76,224	74,347
Получистовое	50	50	0	50	300	45,326	0,1	45,426	45,326	0,45	0,3
Чистовое	32	30	0	50	224	45,102	0,039	45,141	45,102	0,285	0,224
Тонкое	3,2	—	0	50	106	45,002	0,025	45,027	45,002	0,094	0,1
ИТОГО:										77,053	74,971

Определим значения Rz, h :

$$Rz = 160$$

$$h = 200$$

Определим величину Δ при консольном закреплении:

$$\Delta = \Delta_K \cdot l = 1 \cdot 164 = 164$$

Определяем остаточное расположение заготовки после обработки по формуле:

$$\Delta_{\text{ост}} = K_y \cdot \Delta_3$$

$$\Delta_{\text{черн.}} = 0,06 \cdot 164 = 9,84$$

$$\Delta_{\text{получист.}} = 0,05 \cdot 9,84 = 0,492$$

$$\Delta_{\text{нст.}} = 0,04 \cdot 0,492 = 0,02$$

Определим погрешность установки заготовки на выполняемых переходах:

$$\varepsilon = 50$$

Определим расчётный припуск по формуле:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right]$$

где, $R_{z,i-1}$ – высота неровностей профиля на предшествующем переходе;
 h_{i-1} – глубина дефектного слоя на предшествующем переходе;
 $\Delta_{\Sigma i-1}$ – суммарное отклонение расположения поверхности;

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left[(63 + 60)_{i-1} + \sqrt{9,84^2 + 50^2} \right] = 347,91$$

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left[(50 + 50)_{i-1} + \sqrt{0,492^2 + 50^2} \right] = 300$$

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left[(32 + 30)_{i-1} + \sqrt{0,02^2 + 50^2} \right] = 224$$

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left[(3,2 + 0)_{i-1} + \sqrt{0^2 + 50^2} \right] = 106,4$$

Выполним проверку:

$$2Z_{0\max} - 2Z_{0\min} = T_3 - T_d$$

$$77,053 - 74,971 = 2,1 - 0,025$$

$$2,082 = 2,075$$

2. Расчёт для $\varnothing 55K7^{+0,009}_{-0,021}$

Технологические переходы обработки поверхности	Элементы припуска, мкм				Расчётный припуск $Z_{\text{расч}}$ мкм	Расчётный размер, мм	Допуск, мм	Предельный размер, мм		Предельные значения припуска, мм
	Rz	h	Δ	ε				d_{max}	d_{min}	
Сверление	50	50	2,074	50	300	54,719	0,918	53,801	54,719	0,719
Развертывание (предварит.)	10	20	0	50	160	54,879	0,039	54,840	54,879	1,039
Развертывание (чистовое)	3,2	5	0	50	130	55,009	0,030	54,979	55,009	0,139
ИТОГО:									1,897	0,59

Определим значения Rz, h:

$$Rz = 160$$

$$h = 200$$

Определим суммарные отклонения после сверления:

$$\Delta = \sqrt{(\Delta_y \cdot l)^2 + C_0^2} = \sqrt{(0,4 \cdot 43)^2 + 30^2} = 34,58$$

где, Δ_y – значение увода оси сверла;

l – длина отв-я;

C_0 – смещение оси отв-я;

Определяем остаточное расположение заготовки после обработки по формуле:

$$\Delta_{\text{ост}} = K_y \cdot \Delta_z$$

$$\Delta_{\text{сверл.}} = 0,06 \cdot 34,58 = 2,074$$

$$\Delta_{\text{зенк.}} = 0,05 \cdot 2,074 = 0,103$$

$$\Delta_{\text{разв.}} = 0,04 \cdot 0,103 = 0,004$$

Определим погрешность установки заготовки на выполняемых переходах:

$$\varepsilon = 50$$

Определим расчётный припуск по формуле:

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right]$$

где, $R_{z,i-1}$ – высота неровностей профиля на предшествующем переходе;
 h_{i-1} – глубина дефектных слоя на предшествующем переходе;
 $\Delta_{\Sigma i-1}$ – суммарное отклонение расположения поверхности;
 ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе;

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left[(50 + 50)_{i-1} + \sqrt{2,074^2 + 50^2} \right] = 300,085$$

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left[(10 + 20)_{i-1} + \sqrt{0,103^2 + 50^2} \right] = 160$$

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left[(5 + 10)_{i-1} + \sqrt{0,004^2 + 50^2} \right] = 130$$

Наибольший предельный размер отв-я 55,009 мм.
 Вычислим:

$$55,009 - 0,13 = 54,879$$

$$54,879 - 0,16 = 54,719$$

$$54,719 - 0,3 = 54,419$$

Выполним проверку:

$$2z_{0\max} - 2z_{0\min} = T_3 - T_d$$

$$1,897 - 0,59 = 1,337 - 0,030$$

$$1,307 = 1,307$$