

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

ИНСТИТУТ АВИАЦИИ, НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра технологии машиностроительных производств

Направление подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
Образовательная программа: Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств

К защите допустить

Зав. каф. Р.М. Янбаев

«___» _____ 2024 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему «Проектирование технологии изготовления детали “Корпус” из стали
40ХЛ с разработкой процессов литья и обработки на станках с ЧПУ»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ М.Р. Юсупов, группа 1409
(инициалы, фамилия, № группы)

(личная подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ к.т.н., Е.Ф. Шайхутдинова
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия)

(личная подпись)

Казань 2024

*Design of the manufacturing technology of the “Corpus” part
made of 40HL steel with the development of casting and
machining processes on CNC machines by*

Yusupov Marsel Rustemovich

Submitted to the Department of Machine-Building Technology

in partial fulfillment of the Requirements for the degree of

BACHELOR OF SCIENCE

at the

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»
(KNRTU-KAI)

Author	M. R. Yusupov
(signature)	
Supervisor	E. F. Shaikhutdinova
(signature)	Associate professor, Department of Machine-Building Technology
Certified by	R.M. Yanbaev
(signature)	Head of the Department of Machine-Building Technology

date _____

Kazan 2024

Оглавление

Аннотация.....	4
ANNOTATION.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
1.1 Анализ рабочего чертежа детали.....	7
1.2 Материал детали.....	8
1.3 Обоснование вида, способа получения и формы заготовки.....	10
1.4 Проектирование исходной заготовки.....	13
1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъёма.....	14
1.6 Назначение формовочных и литейных уклонов.....	14
1.7 Выбор количества отливок в форме.....	15
1.8 Проектирование и расчет литниково-питающей системы.....	16
1.8.1 Выбор литниково-питающей системы (ЛПС).....	16
1.8.2 Расчет времени заполнения.....	16
1.8.3 Расчет минимального сечения элемента ЛПС.....	17
1.8.4 Расчет времени снятия теплоты перегрева, кристаллизации и охлаждения.....	18
1.9 Проектирование пресс-формы.....	20
1.9.1 Требования предъявляемые к пресс-формам.....	21
1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям.....	24
1.10.1 Изготовление моделей и сборка блока.....	26
1.10.2 Изготовление оболочковой формы.....	28
1.11 Расчет шихты и выбор плавильного агрегата.....	29
1.11.1 Расчет шихты.....	29
1.11.2 Выбор плавильных агрегатов.....	32
1.11.3 Разработка технологии плавки.....	32
1.12 Моделирование процесса заливки.....	34

КТОМП.2024.2011127.000

Изм. Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Юсупов М.Р.		
Проверил.	Шайхутдинова		
Провер.	Е.Ф		
Н. Контр.	Шайхутдинова		
Утверд.			

Проектирование технологии
изготовления детали "Корпус" из стали
40ХЛ с разработкой процессов литья и
обработки на станках с ЧПУ

Лит.	Лист	Листов
	3	

КНИТУ-КАИ гр. 1409

Шайхутдинова

АННОТАЦИЯ

Сведения об объеме работы: 101 страница, 15 таблиц, чертежи – 7, иллюстраций - 17, использованных источников – 23.

Ключевые слова: технологический процесс, литье, ЛВМ, режущий инструмент, технологическая оснастка.

Объект исследования - технология изготовления детали корпус.

Цель работы – разработка технологического процесса изготовления корпуса.

Метод исследования – теория размерных цепей, методика расчета времени заливки и затвердевания, методика расчета режимов резания и норм времени, методика проектирования приспособления.

Полученные результаты – технологический процесс, сборочный чертеж пресс-формы и модельного блока.

Новизна заключается в разработанном единичном технологическом процессе изготовления детали, использование САПР при проектировании технологической оснастки.

Область применения и внедрения – изготовление деталей типа корпус в условиях серийного производства.

ANNOTATION

The reduction of a workload: 101 pages, drawings – 7, illustrations – 17, sources used - 23.

Keywords: technological process, cutting tool, technological equipment.

The object of research is the manufacturing technology of the flange part.

The purpose of the work is to improve the technological process of manufacturing the flange.

The research method is the theory of dimensional chains, the method of calculating cutting modes and time norms, the method of developing a control program for a CNC machine, the method of designing a device.

The results obtained are an upgraded technological process, an assembly drawing of the device, and a control program for the CNC machine.

The novelty lies in the developed single technological process of manufacturing the part, the use of CAD in the design of technological equipment and control programs.

The scope of application and implementation is the production of flange-type parts in the conditions of mass production.

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа является итогом моей трудовой, учебной деятельности как студента. В ней отражаются полученные мной знания и умения. В проект входят разделы, касающиеся изученных специальных дисциплин. Основным направлением получаемых знаний является литейное производство, поэтому основной упор проекта ведется на технологическую часть: получения литой заготовки, технологии литейного производства. В специальной части рассматривается получение готовой детали путем механообработки.

Основные цели проекта:

- разобрать конструкцию детали;
- разработать отливку в соответствии со стандартами, действующими на данный момент;
- разработать конструкцию литниково-питающей системы;
- спроектировать оснастку для получения моделей, форм и тд;
- спроектировать технологию получения заготовки с помощью литья;
- проверить конструкцию ЛПС и сделать выводы;

Содержание специальной частей, касающейся металлообработки:

- разработка маршрутной технологии получения готовой детали;
- выбор средств оснащения;
- расчет операционных размеров, припусков и режимов резания;

Проектирование технологических процессов изготовления деталей и машин ведется в рамках двух строгих требований:

- 1) Соблюдение заданных конструктором параметров детали;
- 2) достижение заданных параметров с наименьшими затратами.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ рабочего чертежа детали

Корпус – это деталь тело вращения. Относится к деталям класса втулок. Образована наружными и внутренними поверхностями вращения.

При технологическом анализе чертежа детали рассматривается каждая поверхность детали и определяются предъявляемые к ней требования по точности размеров, шероховатости и другим показателям качества поверхностного слоя.

Деталь «Корпус» с габаритными размерами 33,5x57мм. На детали имеются ступеньки, которые выполнены переходом диаметров. Корпус представляет собой цилиндрическую деталь из совокупности поверхностей вращения и торцевых поверхностей простой геометрической формы. Все поверхности цилиндрические.

По Общероссийскому классификатору изделий и конструкторских документов

71 Детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.

712 С L до 0,5 D вкл. с нар. поверхностью конической, криволин., комбинир.

7123 С нар. пов. комбинир., без закр. уступов, ступенч., одностор., без нар. резьбы

71236 С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. с резьбой

712362 Без кольцевых пазов на торцах, без пазов и шлицев на нар. поверхности, с отв. вне оси дет.

- » 71 Детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.
- » 712 С L до 0,5 D вкл. с нар. поверхностью конической, криволиин., комбинир.
- » 7123 С нар. пов. комбинир., без закр. уступов, ступенч., одностор., без нар. резьбы
- » 71236 С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. с резьбой
- 712362 Без кольцевых пазов на торцах, без пазов и шлицев на нар. поверхности, с отв. вне оси дет.



Код классификатора ЕСКД 712362 / Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов / Детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др. / С L до 0,5 D вкл. с нар. поверхностью конической, криволиин., комбинир. / С нар. пов. комбинир., без закр. уступов, ступенч., одностор., без нар. резьбы / С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. с резьбой / Без кольцевых пазов на торцах, без пазов и шлицев на нар. поверхности, с отв. вне оси дет.

Рисунок 1 – Классификатор ЕСКД

1.2 Материал детали

Легированная сталь для отливок 40ХЛ используется для изготовления по выплавляемым моделям небольших деталей сложной конфигурации, изделий с повышенной твердостью – зубчатые колеса, секции венца опрокидывателя вагона, бандажи, другая продукция.

Массовая доля элементов не более, % (Таблица 1):

Кремний	Марганец	Сера	Углерод	Фосфор	Хром
0,2–0,4	0,4–0,9	0,04	0,35–0,45	0,04	0,8–1,1

Таблица 1

Материал 40ХЛ – механические свойства (Таблица 2)

Сортамент	ГОСТ	Размеры	Режим термообработки	t	KCU	y	d ₅	s _T	s _B
		толщина, диаметр							
		мм		°C	кДж/м ²	%	%	МПа	МПа
Отливки КТ50	977–88	до 100	Нормализация	850–860	392	25	12	491	638
			Отпуск	600–650					

Таблица 2

Литье (Таблица 3)

Линейная усадка при литье	Температура начала затвердевания материала	Жидкотекучесть	Показатель трещиностойкости	Склонность к образованию усадочной раковины	Склонность к образованию усадочной пористости
%	°C	K _{ж.т.}	K _{т.у.}	K _{у.р.}	K _{у.п.}
2,2–2,3	1497–1508	0,6	0,9	1,1	1,0

Таблица 3

Термообработка (Таблица 4)

Режим	t, °C
Закалка	850–870
Отпуск	600–650

Таблица 4

Технологические свойства (Таблица 5)

Наименование свойства	Показатель
Свариваемость:	ограниченно свариваемая. Способы сварки: РДС и ЭШС. Рекомендуется прогрев и последующая термообработка.
Обрабатываемость резанием:	в закаленном и отпущенном состоянии при HB 196-207 и $\sigma_B = 620$ МПа $K_{\text{в тв. спл}}=1,1$; $K_{\text{в ст}}=0,6$
Флокеночувствительность	не чувствительна
Склонность к отпускной хрупкости	не склонна

Таблица 5

1.3 Обоснование вида, способа получения и формы заготовки

Для сокращения материальных и производственных издержек требуется высокий коэффициент использования материалов. Поэтому, рассмотрим два типа заготовки стандартизированной кругляк и заготовки путем литья.

В первом случае получаем следующее:

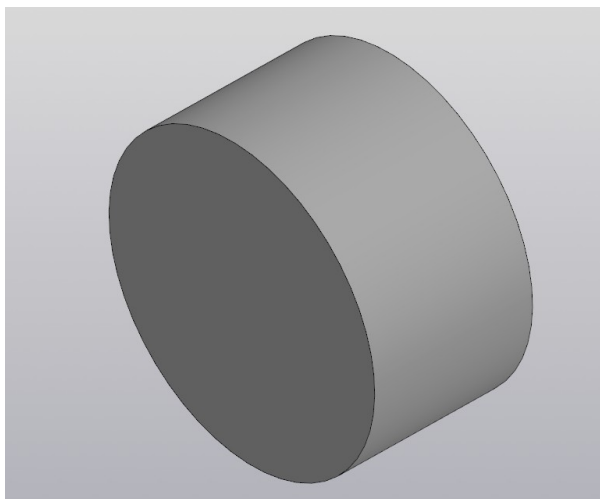


Рис. 2 - Кругляк

Масса детали 0,1008 кг

Масса заготовки 0,79394 кг

$$КИМ = \frac{m_{дет}}{m_{заг}} = \frac{0,1008}{0,79349} = 0.127$$

Сплав из которого подразумевается изготовление заготовки является литейным, поэтому способ, который я буду использовать для получения заготовки – литье.

Литейное производство - один из самых распространенных методов изготовления деталей. В данном случае речь идет о производстве формы, которая затем заполняется расплавленным металлом. Возможности этого метода несколько ограничены, поэтому чаще всего литье используется для создания заготовок, затем обрабатывается на токарном станке. В противном случае полученные продукты необходимо дорабатывать на фрезерном станке.

Несмотря на эти недостатки, литье отлично подходит для создания сложных отливок - например, полые отливки, которые трудно произвести путем обработки. Этот метод подходит для деталей абсолютно любого веса. Для литья можно использовать в качестве формовочных смесей («земля») и металлических пресс-форм. У меня литье по выплавляемым моделям.

Свойство	Значение	Един
Обозначение		-
Наименование	Деталь	-
Материал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-20...	-
Масса	0.133211	кг
Раздел специф...		-
Формат листа		

Рис. 3 – Масса отливки

Расчёт коэффициента использования материала (КИМ):

Масса детали 0,1008 кг

Масса заготовки 0,1912 кг

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{заг}}} = \frac{0,1008}{0,1912} = 0.5272$$

Подводя итог, выбор типа заготовки очевиден, в моем случае КИМ получения детали из кругляка слишком мал, поэтому для получения своей заготовки я выбрал литьё.

В своей курсовой работе для детали я выбрал способ литья по выплавляемым моделям (ЛВМ).

Этот способ литья позволяет максимально приблизить отливку по форме и размерам к готовой детали, а в ряде случаев получить литую деталь в окончательном виде, не требующую какой-либо дополнительной обработки перед сборкой. При этом достигается резкое снижение трудоемкости механической обработки, уменьшается расход металла и металлорежущего инструмента, сокращается потребность в металлорежущих станках. Создается также возможность для совершенствования конструкции деталей и объединения отдельных мелких деталей в цельнолитые узлы при уменьшении их габаритных размеров и массы. Заливка форм, имеющих высокую температуру, позволяет получать отливки с малой толщиной стенок (0,5... 1,0 мм) при протяженности стенки до 50 мм. Отдельные кромки отливок могут иметь толщину 0,7...0,8 мм и протяженность не более 10 мм. Оптимальная толщина стенок отливки составляет 6 мм, так как при большей толщине и недостаточном питании отливки жидким металлом могут появиться усадочные и газовые раковины и пористость.

При данном способе литья наиболее качественными получаются сложные корпусные, компактные детали, поэтому желательно объединять несколько деталей в одну с последующим разделением их тем или иным способом. Крупные плоскостные детали, наоборот, целесообразно расчленять на более мелкие с последующей сборкой отдельных частей.

1.4 Проектирование исходной заготовки

Для того чтобы спроектировать заготовку, воспользуюсь программой КОМПАС-3D.

Для начала создаю эскиз своей заготовки, а потом использую команду «Элемент вращения», выбираю ось Y и получаю 3D модель. После этого для получения крепежных ушек создаю их эскиз и с помощью команды «Элемент выдавливания» выбирая ось Z создаю и их. На последок осталось только добавить литейные скругления.

При определении размерных параметров отливки используем ГОСТ Р 53464 – 2009

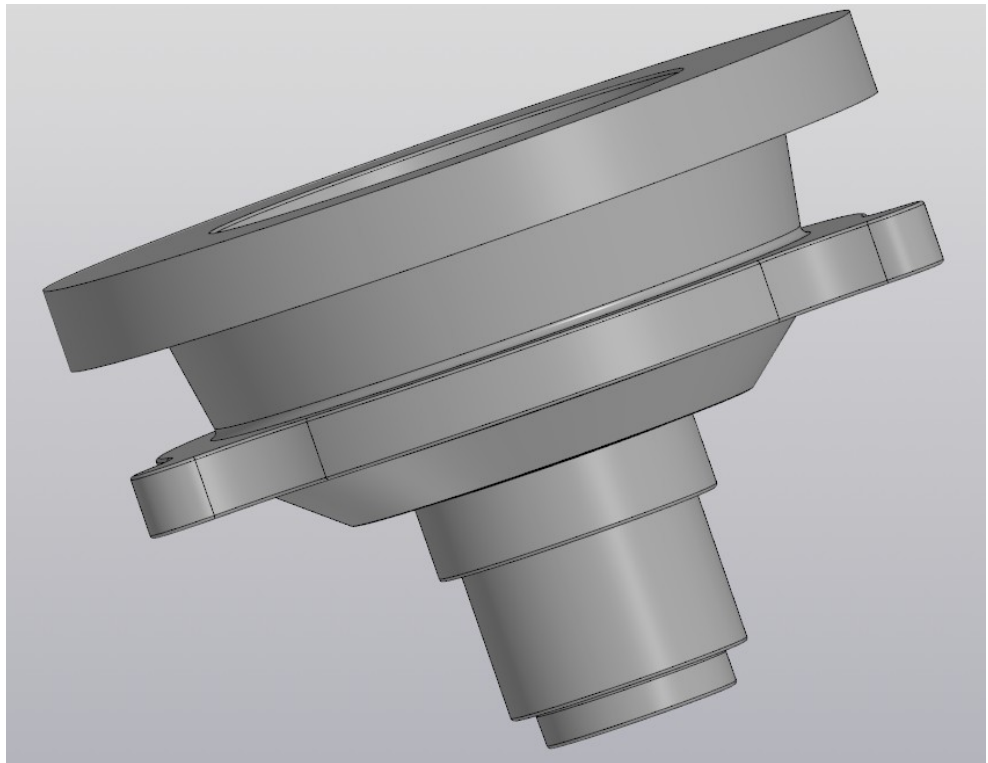


Рис.4 - 3D модель заготовки

1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъёма

Основными задачами при выборе положения отливки во время заливки являются:

- направленность затвердевания, а в некоторых случаях одновременность затвердевания разных по массе частей отливки;
- наиболее ответственные рабочие или обрабатываемые части отливки располагаются внизу или в вертикальном положении;
- предотвращение образования дефектов усадочного характера, трещин, засоров и т. п.;
- обеспечить простоту сборки формы.

Основная масса моей заготовки располагается в нижней ее части поэтому отливку располагаю в вертикальном положении.

Плоскость разъёма формы располагаю по центру заготовки деля ее на две симметричные части.

1.6 Назначение формовочных и литейных уклонов

Формовочные и литейные уклоны назначаю по ГОСТ 3212-92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные. Стержневые знаки. Допуски размеров»

Формовочные уклоны в зависимости от требований, предъявляемых к поверхности отливки, следует выполнять:

- 1) на обрабатываемых поверхностях отливки сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки. Допускается выполнение уклонов за счет уменьшения припуска, но не более 30% его значения;
- 2) на необрабатываемых поверхностях отливки, не сопрягаемых по контуру с

другими деталями, за счет увеличения и уменьшения размеров отливки.

3) на необрабатываемых поверхностях отливки, сопрягаемых по контуру с другими деталями, за счет уменьшения или увеличения размеров отливки в зависимости от поверхностей сопряжения.

Значения формовочных уклонов для литья по выплавляемым моделям указаны в табл.2

Высота модели, мм	Формовочный уклон				
	для наружных поверхностей			для внутренних поверхностей	
			мм		мм
До 10	30'		0,08	1°30'	0,26
Св. 10 " 16	20'		0,09	1°00'	0,28
" 16 " 25	15'		0,10	45'	0,33
" 25 " 40			0,16		0,52
" 40 " 63	10'		0,18	30'	0,55
" 63 " 100			0,29		0,87

Таблица 6

1.7 Выбор количества отливок в форме

Среднесерийное производство подразумевает выпуск от 1500 до 100000 деталей в год. Для своих расчетов я взял значение в 20 тысяч деталей в год. В году около 120 нерабочих дней. В таком случае в один рабочий день нужно изготавливать около 80 деталей, за одну рабочую смену цех должен отлить восковые модели собрать их в модельный блок, приготовить, нанести и высушить огнеупорный материал, после этого залить расплав, дожидаться его затвердевания и охлаждения, провести термообработку и отправить на механическую обработку. Все эти процессы занимают время поэтому для упрощения формовки и выплавки я буду заливать сразу по 40 деталей в одном блоке, так как детали не являются крупногабаритными.

Масса детали, кг.	Тип производства				
	Единичное	Мелко-серийное	Средне-серийное	Крупно-серийное	Массовое

< 1,0	< 10	10 - 2000	1500 - 100000	75000 - 200000	200000
1,0 - 2,5	< 10	10 - 1000	1000 - 5000	50000 - 100000	100000
2,5 - 5,0	< 10	10 - 500	500 - 35000	35000 - 75000	75000
5,0 - 10	< 10	10 - 300	300 - 25000	25000 - 50000	50000
> 10	< 10	10 - 200	200 - 10000	10000 - 25000	25000

Таблица 7 – Серийность выпуска

1.8 Проектирование и расчет литниково-питающей системы

1.8.1 Выбор литниково-питающей системы (ЛПС)

Как известно, литниково-питающая система (ЛПС) должна обеспечить оптимальные условия для заполнения формы и получения отливок без дефектов литейного производства, с минимальным расходом металла на ЛПС. Особенностью ЛПС в литье по выплавляемым моделям в том, что она выполняет три основные задачи:

1. ЛПС является несущей конструкцией, обеспечивающей прочность модельного блока и сохранность моделей отливок на всех технологических операциях, предшествующих выплавлению моделей из формы.
2. В период затвердевания отливок, элементы ЛПС одновременно выполняют роль прибыли, поэтому должны присоединяться к наиболее массивным частям отливки.
3. Кроме того, конструкция ЛПС должна обеспечить направленное затвердевание отливок от наиболее тонких частей к массивным.

Таким образом, ЛПС в моем случае состоит из стояка, заливной чаши и 40 питателей.

1.8.2 Расчет времени заполнения

Расчет времени заполнения, минимального сечения элемента ЛПС

Расчет времени заполнения:

$$\tau_3 = S \sqrt[3]{G * \delta}, c$$

где δ – среднестатистическая толщина отливки, мм;

S – безразмерный коэффициент, учитывающий вид заливаемого сплава, способ литья, тип литниковой системы, массу отливки и т.д.;

G – общая металлоемкость формы, кг.

Коэффициент продолжительности заливки для стальных отливок в зависимости от толщины стенок отливки δ можно определить по таблице

δ , мм	15	25		40	60	80
S	1,3	1,2		1,1	1,05	1,0

Таблица 8

Безразмерный коэффициент S для нашего случая примем равным 2.

Общая металлоемкость формы равна $G=2,52 \text{ кг}$

Можем найти время заполнения:

$$\tau_3 = 2 * \sqrt[3]{2,52 * 1,3} = 2,97 c$$

1.8.3 Расчет минимального сечения элемента ЛПС.

Расчет минимального сечения элемента ЛПС:

$$F = \frac{G}{\mu * \rho * \tau * \sqrt{2 * g * H_p}}$$

где G – общая металлоемкость формы, кг;

μ – коэффициент массы расхода;

H_p – гидростатический напор, м;

ρ – плотность, кг/м³;

g – ускорение свободного падения тела, $g=9,81$ м/с².

Коэффициент массы расхода μ ищем по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}}$$

где $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ ищется исходя из нижеперечисленных данных:

1. 1,5 – при переходе сплава из чаши в стояк;
2. 1,2 – при переходе сплава из стояка в шлакоуловитель;
3. 1 – при переходе сплава из шлакоуловителя в питатель;
4. 0,8 – при переходе сплава из питателя в отливку.

В моем случае коэффициент массы расхода μ будет равен:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5+0,8*(2*10)}} = 0,239$$

Гидростатический напор H_p равен 0,6 м.

Плотность стали равна 7830 кг/м³.

Тогда минимального сечения элемента ЛПС:

$$F = \frac{0,126*2}{0,239*7830*2,97*\sqrt{2*9,81*0,6}} = 0,0000132 \text{ м}^2 = 0,132 \text{ см}^2$$

В таком случае используем расширяющуюся ЛПС и площадь одного питателя равна 0,396 см².

1.8.4 Расчет времени снятия теплоты перегрева, кристаллизации и охлаждения.

Расчет времени снятия теплоты перегрева, кристаллизации и охлаждения

1. Время снятия теплоты перегрева:

$$\tau_1 = A * [m_{отл} * C_{ж} * (T_{пер} - T_{лик})]$$

где $m_{отл}$ – масса отливки, кг;

$T_{пер}$ – температура перегрева, К;

$T_{лик}$ – температура ликвидус, К;

$C_{ж}$ – теплоёмкость сплава в жидком состоянии, Дж/кг*К;

А найдем по формуле:

$$A = \frac{x}{\lambda * T_0 * S}$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м*градус;

T_0 – температура окружающей среды, К;

S – площадь поверхности отливки, м²;

X – ширина отливки, м.

$$A = \frac{0,06}{48 * 293 * 0,010154} = 0,0004$$

Найдем время снятия теплоты перегрева:

$$\tau_1 = 0,0004 * [2,6 * 528 * (1608 - 1508)] = 54,91 \text{ с}$$

2. Время кристаллизации:

$$\tau_2 = A * [m_{отл} * L]$$

где $L = 62000$ Дж/кг, удельная теплота кристаллизации.

Получаем:

$$\tau_2 = 0,0004 * [2,6 * 62000] = 64,48 \text{ с}$$

1. Время охлаждения до температуры выбивки:

$$\tau_3 = A * [m_{отл} * C_{тв} * (T_{сол} - T_0)]$$

$T_{сол}$ – температура солидус, К;

$C_{тв}$ – теплоёмкость сплава в твердом состоянии, Дж/кг*К.

$$\tau_3 = 0,0004 * [2,6 * 491 * (1497 - 293)] = 614,81 \text{ с}$$

Общее время затвердевания и охлаждения:

$$\tau_{общ} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 54,91 + 64,48 + 614,81 = 734,2 \text{ с} = 12,24 \text{ мин}$$

1.9 Проектирование пресс-формы

На начальном этапе производства пресс-формы все существующие идеи, чертежи переносятся на компьютер, на котором с помощью определенных программ осуществляется проектирование пресс-форм.

При проектировании пресс-форм применяются CAD/CAM/CAE системы, автоматизированного, сквозного проектирования. В моем случае это КОМПАС-3D.

Этот этап крайне важен для определения необходимого объема работ на втором этапе изготовления пресс-формы, так как определяется необходимый набор стандартных и специальных изделий, необходимых для изготовления пресс-формы. На этом этапе я определил, что для пресс-формы мне понадобится изготовить верхнюю и нижнюю ее части, стержень, а также определил список используемых стандартных изделий.

Следующий этап проектирования оснастки для литья - это выбор материала для изготовления составных частей пресс-формы.

Подбор материалов для изготовления пресс-форм имеет не менее важное значение, чем выбор оборудования и другие факторы, оказывающие решающее влияние на экономику процесса производства.

Формообразующие детали можно изготавливать из различных материалов. Если требуется обеспечить высокие стойкость, точность, качество поверхности, то применяют стали различных марок. При изготовлении небольшой партии деталей методом литья под давлением с успехом можно использовать сплавы на основе меди, цинка, алюминия.

После завершения проектирования модель передается технологам, которые приступают к написанию программ для автоматической станочной обработки деталей и узлов формы.

Не менее важный этап – проектирование пресс-формы, в который входит разработка конструкторской документации на неё. КД – это пакет стандартизированных документов и чертежей, в который входят подробные характеристики на изготовление пресс-формы под литье.

1.9.1 Требования предъявляемые к пресс-формам

1. Допуски изделий из пластмасс.
2. Наличие острых углов. Острые углы в местах соединения стенок способствуют короблению их в процессе охлаждения и являются одной из главных причин, вызывающих концентрацию напряжений и, соответственно, резко снижающих несущую способность изделия. Внешняя форма изделия должна по возможности обеспечивать применение неразъемных матриц и пуансонов, иначе стоимость форм значительно возрастает, а износостойкость снижается. Кроме того, как правило, увеличивается трудоемкость изготовления самих изделий. Деталь должна быть спроектирована так, чтобы после формования не требовалась или была бы минимальной дополнительная механическая обработка.

3. Стенки изделия. Литьевые детали целесообразно конструировать минимальной толщины, обеспечивающей необходимые механические свойства при хорошем заполнении литевой формы. Это приводит к меньшему расходу материала при более высокой производительности вследствие меньшей продолжительности охлаждения детали в форме.
4. Технологические уклоны. Для обеспечения свободного извлечения отливки из формы на внешней и внутренней поверхности изделия, ребрах, отверстиях необходимо предусматривать технологические уклоны. Уклоны внутренних поверхностей и отверстий должны быть больше уклонов наружных поверхностей, так как при раскрытии формы внутренние поверхности за счет усадки обжимают оформляющие элементы, а наружные, наоборот, отходят от стенок формы и меньше препятствуют удалению отливки.
5. Отверстия в литевых деталях. Специальные отверстия создаются с помощью оформляющего знака, который находится в полости литевой формы. Отверстия, получаемые в процессе формования, в отличие от получаемых механической обработкой, могут иметь самую разнообразную и сложную форму сечения. Можно получать отверстия со взаимно пересекающимися под различными углами осями, однако это резко усложняет конструкцию формы и повышает стоимость изделия.
6. Резьбы. Большинство изделий из пластмасс имеют наружную, внутреннюю или и ту, и другую резьбу, которую получают как в процессе формования, так и нарезанием механическим способом. Возможность непосредственного получения резьбы в процессе формования, несмотря на усложнение конструкции формы, дает значительные преимущества, так как исключает операции механической обработки.
7. Приливы, выступы. Конструкция пластмассового изделия по возможности не должна иметь значительных выступов или приливов. К

технологическим выступам относят выступы, предназначенные для размещения выталкивателей.

Они могут отсутствовать на достаточно прочных изделиях, но желательны на тонкостенных.

8. Арматура. Для увеличения прочности пластмассового изделия, повышения износостойкости, обеспечения специальных свойств (электрическая, магнитная проводимость), улучшения декоративных свойств в конструкцию изделия допускается вводить металлическую или другую арматуру (керамическую, стеклянную, пластмассовую другого вида, резиновую и др.).
9. Накатка, рифления, надписи. Накатку и рифления на изделиях из пластмасс следует выполнять прямыми ребрами, параллельными направлению выталкивания изделия из формы. Наиболее технологичным рельефом является полукруглый профиль. Надписи (буквы, цифры, знаки) на изделиях обычно получают в процессе формования, причем на поверхностях, параллельных плоскости разъема формы.
10. Конструкция изделия должна предусматривать место подвода литника, положение выталкивателей, следов от вставок и расположение линии разъема формообразующих элементов. Расположение впускного литникового канала влияет на характер течения расплава в форме, на внутренние напряжения, образование спаев в изделии, следы течения на поверхности изделия, на усадку, деформацию изделия при высоких температурах, прочность изделия. Внутреннее напряжение обычно наиболее значительны в области впуска, поэтому место впуска в изделии наиболее опасно и подвержено растрескиванию или разрушению. Расположение линий спаев зависит от местонахождения впуска, толщины и сложности конфигурации детали. При неправильном расположении впуска может произойти искажение

формы отливки. Необходимо создавать условия для параллельного течения полимера в оформляющей полости. Процесс проектирования пластмассовых изделий должен обеспечивать максимальную технологичность конструкции. Это предполагает достижение минимальной стоимости, экономию материала, упрощение конструкции формующего инструмента.

1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям

Процесс литья по выплавляемым моделям заключается в том, чтобы сначала сформировать керамическую, гипсовую или пластиковую оболочку вокруг воскового объекта. Затем удалите воск и завершите процесс литья по выплавляемым моделям. Наконец, металл заливается в оболочку для формирования изделий для литья по выплавляемым моделям. Обычно в литейном цехе по выплавляемым моделям существует 8 этапов процесса литья по выплавляемым моделям.

8 шагов процесса литья по выплавляемым моделям:

1. Создание восковой модели
2. Сборка модельного блока
3. Нанесение суспензии и связующего
4. Удаление воска
5. Заливка металла
6. Удаление оболочки
7. Отделение отливок
8. Шлифовка мест стыка

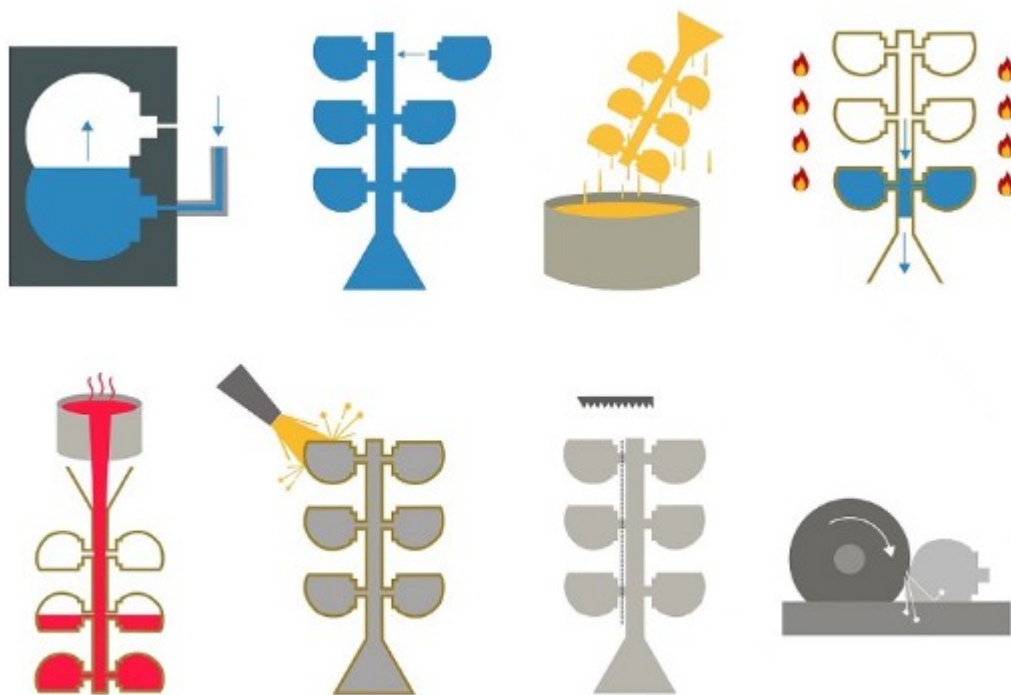


Рис. 5 - технологический процесс ЛВМ

Создание восковой модели в ящиках является первым этапом изготовления формы для литья по выплавляемым моделям. Восковая модель изготавливается путем впрыскивания воска в металлическую пресс-форму.

Готовые восковые модели, стояк и питатели собираются в общую конструкцию потому, что делать мелкие детали за один раз неэкономично.

Далее нужно провести две операции: нанести огнеупорную суспензию и нанести слой огнеупорного зернистого материала подсушивая каждый слой, таких слоев может быть от 4 до 12.

Для удаления воска из оболочки можно использовать автоклав для депарафинизации паром: этот тип машины для депарафинизации удаляет большую часть воска, этот воск можно использовать повторно.

Вы должны убедиться, что оболочка предварительно нагрета до определенной температуры, чтобы избежать затвердевания или замерзания в процессе заливки. Оболочка должна сохранять температуру до тех пор, пока она не наполнится. Только тогда можно заливать металл.

Когда вы закончите процесс заливки металла, вы должны удалить материалы для литья по выплавляемым моделям. Существует три распространенных механических метода удаления оболочки. Молот, струйная очистка водой под высоким давлением, вибростол.

После снятия оболочки с дерева отливок следует отрезать части ЛПС и отшлифовать места стыка. Последний этап изготовления формы для литья по выплавляемым моделям может быть завершен вибрационным, ленточным или ручным шлифованием, или полированием.

1.10.1 Изготовление моделей и сборка блока

Модели выполняются по ранее спроектированной пресс-форме.

Требования к модельному составу:

1. Точно воспроизводить конфигурацию рабочей полости пресс-формы и ее поверхности, не прилипать к пресс-форме. Поверхность модели должна быть чистой, глянцевой.
2. После затвердевания состав должен иметь твердость и прочность такие, чтобы модели не деформировались и не повреждались на всех технологических операциях.
3. Усадка состава при охлаждении минимальной.
4. Температура плавления модельного- состава должна быть невысокой, в пределах 60-100 °С. В этом случае облегчается изготовление моделей и удаление их из полости литейных форм.

5. Выплавляемый модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью в расплавленном состоянии для облегчения изготовления моделей и выплавления их из форм.
6. Модельные составы, запрессовываемые в пастообразном состоянии, должны обладать в этом состоянии хорошей текучестью, позволяющей получать модели с четкой проработкой контуров полости пресс-формы.
7. Продолжительность затвердевания модельного состава должна быть минимальной.
8. Химическое взаимодействие состава со связующим раствором и огнеупорной основой суспензии недопустимо.

Исходя из требований к моей конфигурации модельного блока, а также не больших размерах отливки выбираю – парафин. Это смесь углеводородов, состава $C_{18}H_{38}$ - $C_{35}H_{72}$, температура плавления 40..65С, плотность 880...900 кг/м³. Получают его сухой перегонкой бурого угля и горючих сланцев. Применяют технический парафин – воскоподобную массу белого цвета, содержащую до 3% масла. Недефицитный и дешёвый.

Модели будут изготавливаться в пресс-форме путем шприцевания для этого использую шприцмашину.

Шприц-машина предназначена для приготовления и запрессовки модельной пасты в пресс-формы.

Изделие имеет :

- плавильное устройство до 30 литров/час;
- накопительный бак с мешалкой объемом до 120 литров;
- смеситель шестереночный для приготовления пасты;
- стол с водяным охлаждением, регулируемый по высоте;
- Запрессовка модельного состава верхняя, подача по шлангу автономным подогревом ;

- объем запрессовочного цилиндра до 10 литров;
- перемещение сопла по трем осям при помощи гидроцилиндров;

Сборка блока, происходит согласно чертежу модельного блока.

1.10.2 Изготовление оболочковой формы

Огнеупорный материал, который наслаивается поочередно в зависимости от фракции зерен, от самой мелкой до крупной. Требования к ним:

- высокая огнеупорность;
- отсутствие превращений при нагревании и охлаждении;
- химическая стойкость;
- доступность и дешевизна

Зачастую в качестве связующих используют кремнийорганические соединения этилсиликата (ЭТС-40, ЭТС-32) путем его гидролиза водой в присутствии спиртов и ацетона.

Разработанная ООО «СИТЕК» рецептура термостойких связующих на основе коллоидного кремнезоль не требует дополнительных операций по приготовлению связующего. Это готовый продукт. «СИЛАРМ» представляет собой водную дисперсию очень маленьких сферических частиц SiO_2 , которые связаны друг с другом и способны образовывать связи со всеми огнеупорными оксидами, применяемыми в литье по выплавляемым моделям.

«СИЛАРМ» выполняет две функции в процессе литья по выплавляемым моделям:

1. Из-за своей низкой вязкости, подобной воде, он является отличным связующим, в котором наполнитель из огнеупорных оксидов находится во взвешенном состоянии. Из-за низкой вязкости в «СИЛАРМ» можно загрузить большее количество огнеупорного материала для достижения требуемой вязкости по сравнению с другими связующими.

2. После испарения воды частицы связываются с керамическими частицами и друг с другом, образуя «клей», который скрепляет оболочку. Сформировавшись, эта связка становится водонерастворимой, что позволяет наносить следующие слои. Связка сохраняется и даже улучшается после

прокалки оболочки перед заливкой металлом. Чего невозможно достичь, используя традиционные силикатные растворы, в частности, жидкое стекло, поскольку форма подвержена разрушению при вытопке воскового состава.

1.11 Расчет шихты и выбор плавильного агрегата

Перед заключительным этапом технологического процесса, параллельно идет подготовка металла, расчет количества металла, его составляющих (шихты), процесса плавки и выбор агрегата для плавки.

1.11.1 Расчет шихты

Существует три метода расчета шихты: аналитический, графический и метод подбора. Ранее мне уже приходилось вести расчет всеми тремя методами и я пришел к выводу, что графический метод самый простой, наглядный и точный в расчетах. Поэтому использую его в своих расчетах.

Дано:

Шихта:

Компоненты	Содержание, %	Si	Cr
Ст6пл	А	0,23	0,15
ФХ200А	Б	2	65
ФС45	С	45	0,8

Таблица 9

Нужно найти содержание шихтовых материалов А, Б, С графически. На прямоугольной системе координат, по горизонтальной оси отложим содержание кремния, а по вертикальной оси – хрома. В данной системе координат фиксируем точки, соответствующие содержанию меди и молибдена в составляющих А, Б, С. Эти точки соединим прямыми линиями, получим треугольник.

С учетом угара в шихту нужно ввести кремния и хрома:

$$\mathcal{E}_{Si} = \frac{0,3 \cdot 100}{100 - 27} = 0,411 \%$$

$$\mathcal{E}_{Cr} = \frac{0,95 * 100}{100 - 2} = 0,97\%$$

Эти данные наносим на оси координат и получаем точку О. Если эта точка попала на площадь треугольника АВС, то из данных шихтовых материалов составить шихту можно. Через точку О проводим прямые линии до пересечения с противоположными сторонами треугольника. Получились линии Аа, Вb, Сс (рис. 6)

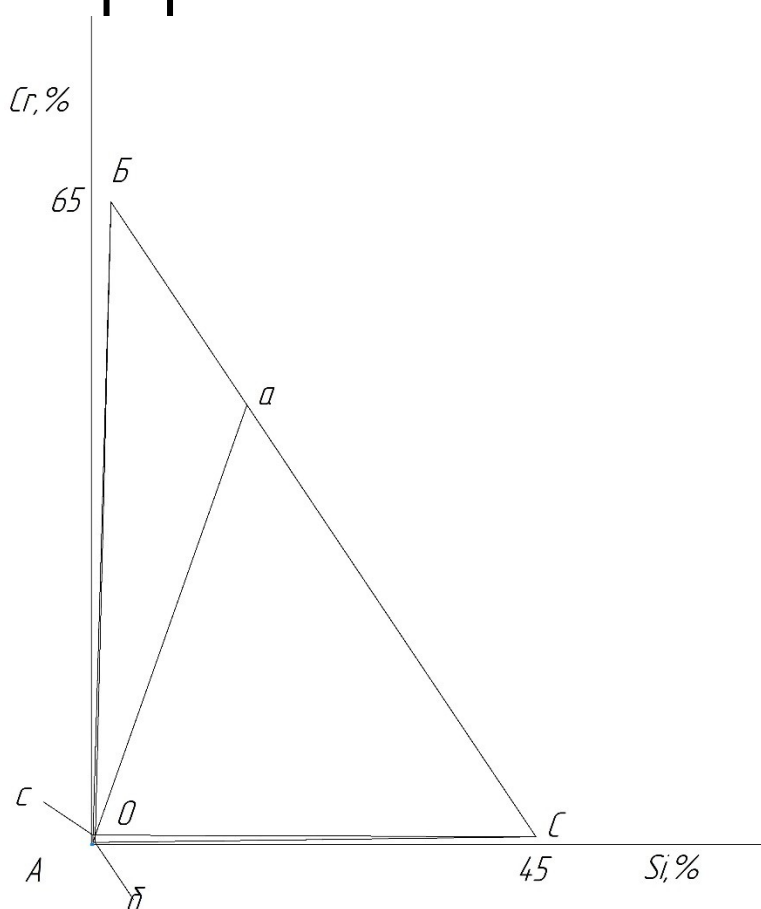


Рис. 6

Затем строим любой длины прямую МН и делим ее на столько частей сколько процентов от общего содержится в используемых шихтовых материалах (в моем случае 100%). С концов прямой МН под прямым углом проводим две параллельные прямые МХ и НУ. На параллели МХ от точки М откладываем длины отрезков Оа, Об, Ос, а на параллели НУ от

точки Н – длины отрезков ОА, ОВ, ОВ. На прямой МХ получаем точки, Оа, Об, Ос, а на прямой НУ – точки ОА, ОВ, ОС. Соединяем точки ОА и Оа, ОВ и Об, ОС и Ос прямыми линиями (рис. 7).

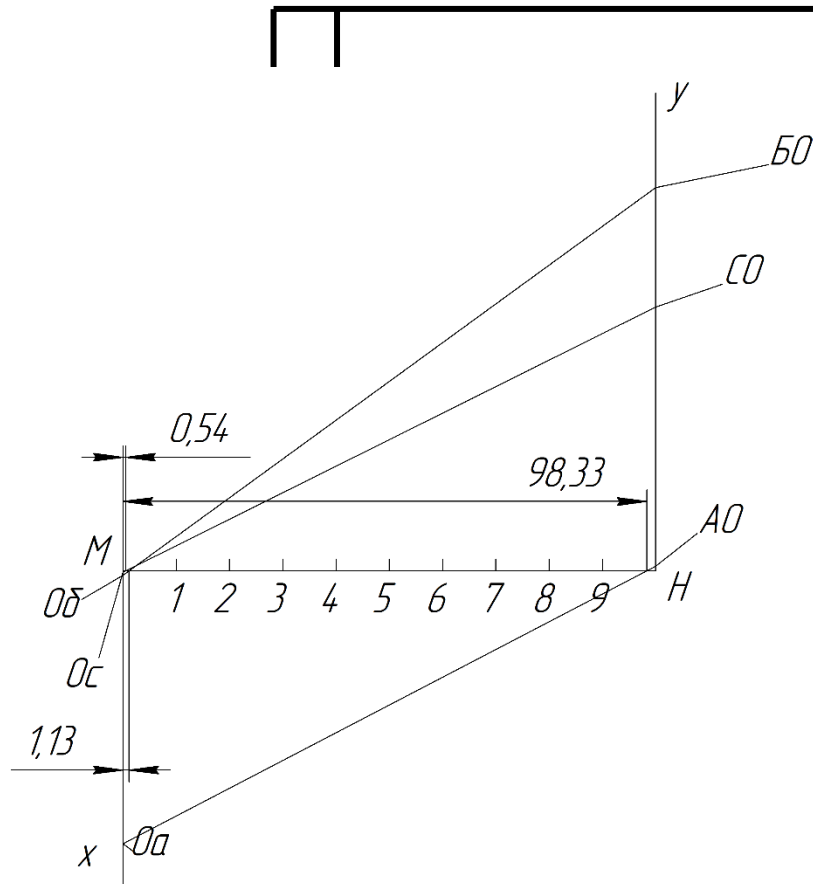


Рис. 7

Точка пересечения прямой ОАОа с прямой МН будет соответствовать процентную долю элемента А в шихте; точка пересечения прямой ОВОб с прямой МН – долю элемента Б; точка пересечения прямой ОСОс с прямой МН – долю элемента С. Доля элемента А составит 98,33%, элемента Б – 1,13%, элемента С – 0,54%.

1.11.2 Выбор плавильных агрегатов.

Для моей серийности производства и размерах самой детали подойдет индукционная печь рассчитанная на 20 кг (ИСТО,02)

Характеристики:

-Мощность(кВт): 20

-Номинальное напряжение питающей сети(В): 3*380

-Скорость плавки(т/ч): 0,03

-Частота тока номинальная(кГц): 8-22

Особенностями данной категории печей является компактность и гибкость. Печи не требуют особой специальной подготовки рабочей площадки. Они легки и мобильны.

В этой категории печей индуктор установлен в достаточно жесткой комбинированной раме на стальном ложе с двумя осями. Печи, за редким исключением, имеют электромеханический привод с вращением вокруг центра массы. Таким образом, печи данной категории достаточно устойчивы, безопасны и удобны в эксплуатации.

Малый объем печей позволяет налаживать опытное производство, отрабатывать определенную металлургическую технологию, возвращать отходы механической обработки в производство и т.д. Кроме того, применение графитированных или керамических тиглей позволяет помимо стандартных металлов плавить как драгоценные металлы без риска их загрязнения/потери, так и непроводящие материалы, такие как базальт или шлаки с содержанием ценных металлов.

1.11.3 Разработка технологии плавки

Рассмотрим конкретно плавку стали 40ХЛ. Поскольку кислые шлаки не позволяют проводить рафинирование стали от серы и фосфора, к стальному лому должны предъявляться повышенные требования по содержанию этих

элементов, т.е. серы и фосфора в шихте должно быть столько, чтобы по расплавлению и введении FeCr в период доводки их содержание не превышало 0,04%.

Подготовка печи к плавке производится следующим образом. После выпуска предыдущей плавки стали очищаются подина и откосы печи от остатков жидкой стали и шлака, производится осмотр футеровки с целью определения ее состояния. Если имеются выбоины и неровности, местные углубления, производят их заправку смесью песка с жидким стеклом. Заправку производят как можно быстрее, стараясь сохранить температуру футеровки после выпуска стали с целью лучшей привариваемости материала заправки.

Шихтовые материалы перед загрузкой взвешивают, мелкую шихту и стружку загружают вниз на подину. Укладка шихты должна быть плотной. Процесс плавки делится на три периода в зависимости от расхода энергии, каждый из которых решает свои задачи. Плавка во все периоды проводится на постоянной мощности дуги.

Первый период – подготовительный. Этот период плавки протекает при высоком напряжении и небольшом токе дуги. Режим дуги позволяет вести расплавление шихты без привязки анодного пятна на расплав. *Второй* период – энергетический, при этом ток дуги удваивают, а напряжение в два раза снижают. Перегрев расплава под дугой во втором и третьем периодах предотвращается тем, что размещение подовых электродов формирует тороидальное вращение металла в вертикальной плоскости, при котором поток металла с большой скоростью подтекает под дугу и уходит вглубь расплава. В этих условиях температурное поле расплава выравнивается за счет интенсивной конвективной теплопередачи через расплав, а высокая скорость движения металла под дугой не допускает его локального перегрева. *Третий* период – технологический. Плавка в этот

период проводится при короткой дуге и низком напряжении. При этом температура расплава плавно увеличивается до заданного уровня и в дальнейшем стабилизируется в требуемых пределах путем кратковременного включения-отключения дуги. В этот период осуществляются все необходимые технологические воздействия на металл.

При полном расплавлении шихты берут пробу металла для экспресс-анализа на С, Мп, S, Р. Оптимальное содержание углерода перед началом окислительного периода должно быть 1,15– 1,25%. Для окисления углерода в хорошо нагретый металл присаживают малыми порциями железную руду, после каждой порции дают выдержку 5–10 мин. Продолжительность окислительного периода должна быть не более 40 мин, включая и кипение.

При достижении среднего содержания углерода по заданному анализу шлак должен быть нормальной жидкоподвижности, плотным, тянуться в нить и в изломе иметь зеленый цвет. При нормальном шлаке и достижении требуемого содержания углерода для раскисления металла в ванну присаживают ферросилиций ФС45. При этом ванну тщательно перемешивают. Через 10–15 мин ванну перемешивают вторично и берут пробу на раскисленность металла и температуру. Залитая в стаканчик проба металла, хорошо раскисленная кремнием, не должна искрить; при затвердевании металл должен давать усадку.

Раскисление металла совмещается с доводкой химического состава стали. Поскольку сталь 40ХЛ содержит 0,8–1,1% Cr, то расчетное количество хрома в виде феррохрома вводится во время доводки после первого этапа раскисления. Второй этап раскисления проводится во время выпуска стали из печи путем подачи на желоб дробленого ферросилиция ФС75. Окончательное раскисление стали проводится алюминием, который подается на дно ковша в количестве 1,0–1,2 кг на 1 т жидкой стали.

1.12 Моделирование процесса заливки

Первоначально для того, чтобы провести процесс моделирования заливки, я смоделировал сам блок отливок в сборе, используя для этого программу КОМПАС-3D. Далее сохранил модель в формате STL.

Для моделирования процесса заливки буду использовать программу NovaFlow and Solid. Уже в самой программе нужно задать начальные условия такие как: сплав, материал оболочки, начальная температура сплава, напор. После этого нужно задать размер ячейки, а также размер бокса. Дальше указываю координаты точки заливки (рис.8).

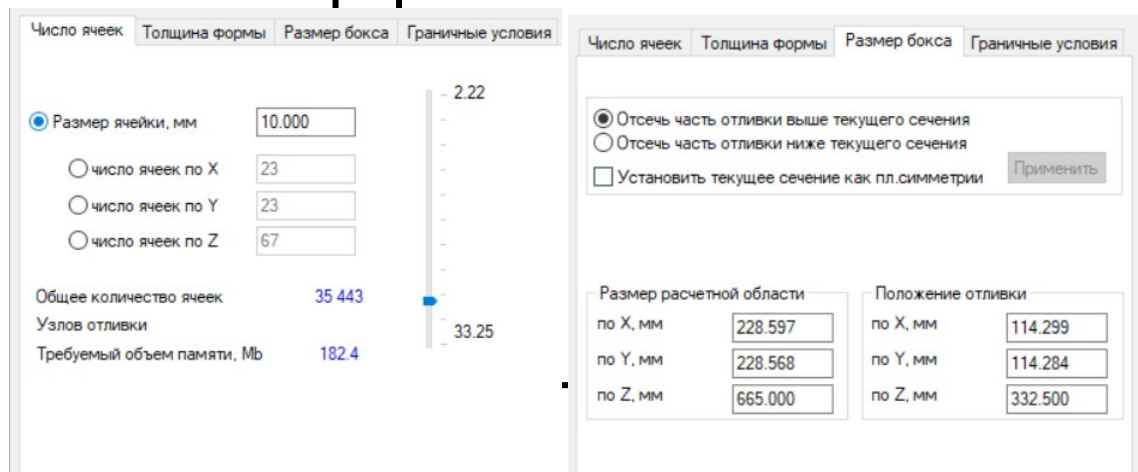


Рис. 8

Дальше запускаю процесс моделирования заливки и получаю результат. (рис. 9 ,10,11)

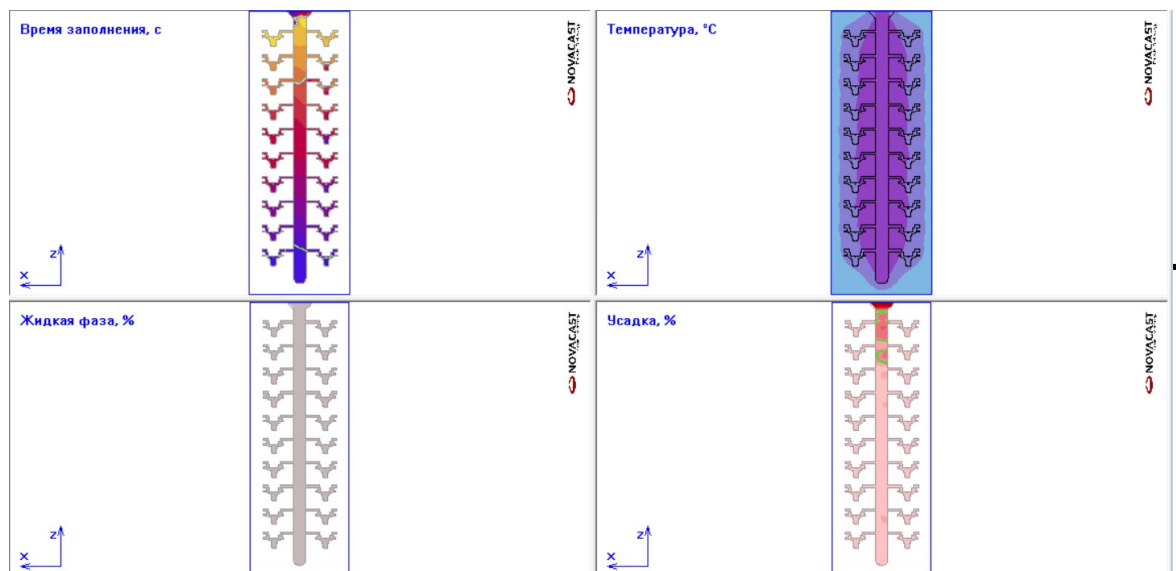


Рис. 9

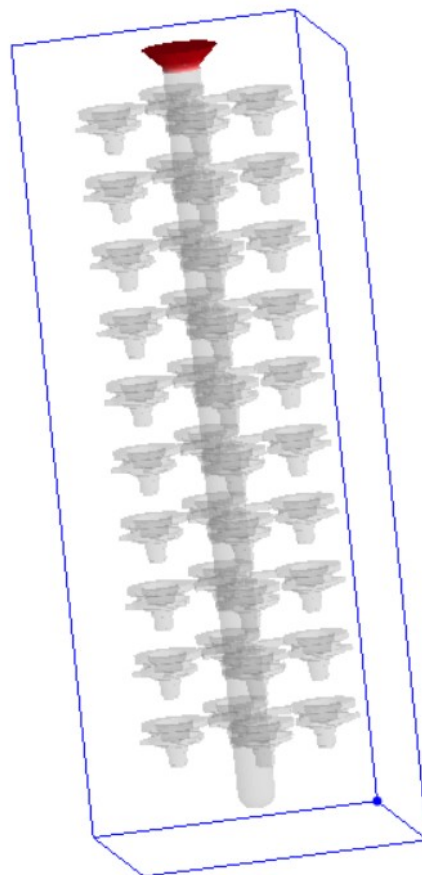


Рис.10

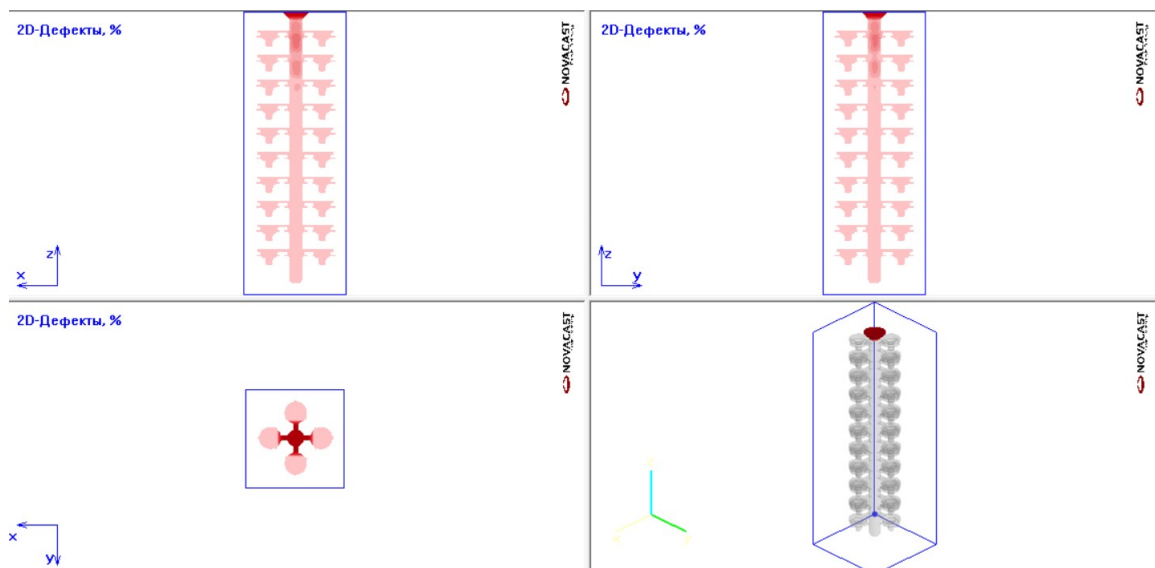


Рис. 11

По итогам проведенного моделирования можно сделать выводы:

- усадка возникает только в стояке и заливной чаше;
- дефекты литья возникают только в ЛПС;
- заполнение и формы идет равномерно;
- кристаллизация направленная.

Рис. 12 – нумерация поверхностей

№	Название поверхности	Тзаг, мм	Тдет , мм	Тзаг/Тдет	Число ступеней механической обработки
1	Торцевая поверхность	0,46	0,3	1,5363	0,92±1
2	Торцевая поверхность	0,46	0,3	1,5363	0,92±1
3	Торцевая поверхность	0,27	0,18	1,5	0,90±1
4	Торцевая поверхность	0,27	0,11	2,45	1,94±2
5	Внутренний D=10	0,46	0,11	1,6363	0,46±1
6	Внутренний D=24,5	0,27	0,11	2,45	1,94±2
7	Внутренний D=28,2	0,46	0,16	1,5625	0,42±1
8	Внутренний D=31	0,46	0,11	2,45	1,94±2
9	Внутренний D=33,2	0,39	0,09	1,6667	0,48±1
10	Внутренний D=45,4	0,39	0,16	2,43	1,93±2
11	Торцевая поверхность	0,27	0,11	2,45	1,94±2
12	Торцевая поверхность	0,27	0,11	1,6363	0,46±1
13	Торцевая поверхность	0,27	0,11	1,6363	0,46±1
14	Торцевая поверхность	0,27	0,11	1,6363	0,46±1
15	Торцевая поверхность	0,27	0,11	1,6363	0,46±1
16	Торцевая поверхность	0,27	0,11	1,6363	0,46±1
17	Торцевая поверхность	0,27	0,11	2,45	1,94±2
18	Торцевая поверхность	0,27	0,11	1,6363	0,46±1

19	Диаметр внутренней			0,15	0,11	1,6363	0,46±1
20	Больший диаметр внутренней фаски			0,15	0,11	1,6363	0,46±1
21	Наружный диаметр			0,27	0,11	2,45	1,94±2
22	Наружный диаметр			0,27	0,11	2,45	1,94±2
23	Диаметральный размер			0,15	0,11	1,6363	0,46±1
24	Отверстие			0,18	0,11	1,6363	0,46±1
25	Резьба			0,27	0,11	2,45	1,94±2
26	Наружный диаметр			0,27	0,11	2,45	1,94±2
27	Поверхность шестигранника			0,18	0,11	1,6363	0,46±1
28	Резьба			0,39	0,062	6,3	0,38±3

Таблица 10

2.2 Формирование укрупненного плана технологического процесса

Укрупненный план этапов изготовления детали состоит из следующих этапов:

- 1) Заготовительный этап (формообразование исходной заготовки).
- 2) Термическая обработка для снятия остаточных напряжений: отпуск (600-650С)
- 3) Черновой этап:

-черновая обработка литейных припусков

- 4) Термическая обработка (для обеспечения требуемых свойств поверхностного слоя)

5) Чистовой этап:

-обработка комплекта технологических баз (восстановление баз);

-получистовая обработка комплекса поверхностей, с размерами, точность которых по конструкторским и технологическим требованиям превышает общие допуски.

6) Контроль для проверки размеров детали, поверхности на отсутствие дефектов

№ операции	Наименование и содержание операции	Оборудование
000	Заготовительная	Литейный комплекс
005	Термическая обработка	Электрическая печь
010	Токарная черновая	Токарно – фрезерный станок с ЧПУ
015	Термическая	Электрическая печь
020	Токарно-фрезерная чистовая	Токарно – фрезерный станок с ЧПУ
025	Промывка	
030	Контрольная	Стол контрольный

Таблица 11

2.3 Установлене последовательности обработки поверхностей, выбор измерительных и технологических баз

На каждом этапе первыми обрабатываются поверхности, которые потом используются в качестве технологических баз. На предварительном

(черновом) этапе обработки необходимо удалить максимальное количество металла за минимальное время при возможно меньших потерях точности. На первой операции черновой обработки обеспечивается размер рабочего чертежа, связывающий комплекс механически обрабатываемых поверхностей с поверхностями детали, не подвергаемыми механической обработке, что соответствует пункту 4.15 ГОСТ 2.307-2011. Поэтому в качестве технологической базы на первой операции рекомендуется использовать поверхность заготовки, которая остается необработанной в детали

2.4 Составление эскиза совмещённых переходов и осевых размерных цепей

Эскиз совмещённых переходов составляется по ходу технологического процесса, то есть начиная с заготовительной операции в порядке выполнения операций, установов и переходов. Вначале на поле чертежа наносится эскиз исходной заготовки с условными обозначениями начальных размеров Н1, Н2 и Н3, Н4, Н5, Н6, Н7, Н8, Н9, Н10 (рисунок 2.1). Их мы наносим над эскизом заготовки.

В соответствии с планом обработки, начиная с первого перехода установа 1 операции 010 «Токарная черновая» наносим на поле эскиза межоперационный координирующий размер А1 и снимаемый при этом припуск Z1. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 1. Эта цепь включает в себя начальный размер исходной заготовки Н1, операционный размер А1 и припуск Z1, который является замыкающим. Наносим цепь 1 на поле чертежа. Затем для установа 1 необходимо выявить размерные цепи для внутриоперационных размеров. Наносим на ЭСП межоперационный координирующий размер А2 с припуском Z2 и строим размерную цепь 2, в которую входят размеры Н1, Н2, А1, А2 и припуск Z2

в качестве замыкающего звена. Размер A2 будет равен конструкторскому размеру K22. Также наносим размер A3 с припуском Z3 и строим размерную цепь 3, в которую входят размеры H1, H10, A1, A3 и припуск Z3 в качестве замыкающего звена. Размер A3 будет равен конструкторскому размеру K14. Также наносим размер A4 с припуском Z4 и строим размерную цепь 4, в которую входят размеры H1, H4, A1, A4 и припуск Z4 в качестве замыкающего звена. Размер A4 будет равен конструкторскому размеру K25. Также наносим размер A5 с припуском Z5 и строим размерную цепь 5, в которую входят размеры H1, H4, A1, A5 и припуск Z5 в качестве замыкающего звена.

Также на этом установе наносим конструкторский размер K15, который получается за счёт напуска.

Так как в установе 1 больше нет внутриоперационных размеров, переходим к установу 2 и наносим на ЭСП межоперационный координирующий размер A6 с припуском Z6 и строим размерную цепь 6, в которую входят размеры A1, A4, A6 и припуск Z6 в качестве замыкающего звена. Также наносим размер A7 с припуском Z7 и строим размерную цепь 7, в которую входят размеры H5, A1, A5, A6, A7 и припуск Z6 в качестве замыкающего звена. Также наносим размер A8 с припуском Z8 и строим размерную цепь 8, в которую входят размеры H6, A1, A4, A6, A8 и припуск Z8 в качестве замыкающего звена. Также наносим размер A9 с припуском Z9 и строим размерную цепь 9, в которую входят размеры H7, A1, A4, A6, A9 и припуск Z9 в качестве замыкающего звена. Также наносим размер A10 с припуском Z10 и строим размерную цепь 10, в которую входят размеры H8, A1, A4, A6, A10 и припуск Z10 в качестве замыкающего звена. Также наносим размер A11 с припуском Z11 и строим размерную цепь 11, в которую входят размеры H9, A1, A4, A6, A11 и припуск Z11 в качестве замыкающего звена.

Переходим к следующей операции 020 «Токарно-фрезерная чистовая с ЧПУ». В соответствии с планом обработки, начиная с первого установа 1

операции 020. В соответствии с планом обработки наносим межоперационный координирующий размер A12 и снимаемый при этом припуск Z12. Строим размерную цепь 12, в которую входят размеры A6, A12 и припуск Z12 в качестве замыкающего звена. Из внутриоперационных размеров в этой операции присутствует размер A13, который равен конструкторскому размеру K7 и снимается за счет припуска Z13, который будет являться замыкающим звеном в размерной цепи 13, куда входят размеры A6, A9, A12, A13 и припуск Z13. Наносим размер A14, который равен конструкторскому размеру K11 и снимается за счет припуска Z14. Строим размерную цепь 14, в которую входят размеры A6, A10, A12, A14 и припуск Z14 в качестве замыкающего звена. Далее наносим A15, который равен конструкторскому размеру K13 и снимается за счет припуска Z15, который будет являться замыкающим звеном в размерной цепи 15, куда входят размеры A6, A7, A12, A14, A15, и припуск Z15. Далее наносим A16, который равен конструкторскому размеру K19 и снимается за счет припуска Z16, который будет являться замыкающим звеном в размерной цепи 16, куда входят размеры A6, A11, A12, A16 и припуск Z16. Далее наносим A17, который равен конструкторскому размеру K10 и снимается за счет припуска Z17, который будет являться замыкающим звеном в размерной цепи 17, куда входят размеры A6, A8, A12, A17 и припуск Z17. Также наносим конструкторский размер K9 и получается за счёт удаления избыточного слоя материала (напуска), так же, как и конструкторский размер K12.

Так как в установе 1 больше нет внутриоперационных размеров, переходим к установу 2 и наносим на ЭСП межоперационный координирующий размер A18 с припуском Z18 и строим размерную цепь 18, в которую входят размеры A5, A4, A12, A18 и припуск Z18 в качестве замыкающего звена.

Также построим дополнительную размерную цепь 19 для размера K21, который будет являться замыкающим звеном. В эту цепь входят размеры A4, A12.

После выявления всех видов технологических размерных цепей составляем таблицу, в которой отражается порядок их решения (рисунок 2.3). Первой решают одну из последних по построению размерных цепей, в которую входят размеры рабочего чертежа и определяемые операционные размеры. В нашем случае первой мы будем решать дополнительную размерную цепь – 19. Далее перейдем к цепи 12, где найдем координирующий размер A6. Следующая будет решаться цепь 16, где найдется размер A11. Исходя из этого мы сможем решить цепь 6, где найдем размер A1. Далее решим цепь 18, где найдем размер A5. Следующую будем рассчитывать цепь 11, где найдем размер H9. Далее будет рассчитываться размерная цепь 14, где найдем размер A10. Исходя из этого мы сможем решить цепь 15, где найдем размер A7. Далее будет рассчитываться размерная цепь 16, где найдем размер A11. Исходя из этого мы сможем решить цепь 17, где найдем размер A8. Далее будет рассчитываться размерная цепь 10, где найдем размер H8. Исходя из этого мы сможем решить цепь 9, где найдем размер H7. Далее будет рассчитываться размерная цепь 8, где найдем размер H6. Исходя из этого мы сможем решить цепь 7, где найдем размер H5. И наконец решаем цепь 1, где найдем размер H1.

И так как в размерных цепях 2, 3, 4 и 5 у нас присутствуют 2 размера H, то к ним мы строим вспомогательные цепи 2а и 2б, для размерной цепи 2, вспомогательные цепи 3а и 3б для цепи 3, вспомогательные цепи 4а и 4б для цепи 4, вспомогательные цепи 5а и 5б для цепи 5. В размерной цепи 2а замыкающим звеном будет являться припуск Z2, и в ней мы найдем размер H*, а исходя из найденного размера мы перейдем к цепи 2б, где найдем еще один начальный размер исходной заготовки H2.

И в размерной цепи 3а замыкающим звеном будет являться припуск Z3, и в ней мы найдем размер Н**, а исходя из найденного размера мы перейдем к цепи 3б, где найдем еще один начальный размер исходной заготовки Н10.

В размерной цепи 4а замыкающим звеном будет являться припуск Z4, и в ней мы найдем размер Н***, а исходя из найденного размера мы перейдем к цепи 4б, где найдем еще один начальный размер исходной заготовки Н3.

В размерной цепи 5а замыкающим звеном будет являться припуск Z5, и в ней мы найдем размер Н****, а исходя из найденного размера мы перейдем к цепи 5б, где найдем еще один начальный размер исходной заготовки Н4.

Перейдем к расчету размерных цепей (рисунок 2.1).

После разработки плана обработки, необходимо рассчитать технологические размеры при обработке детали. Для этого составляем эскиз совмещенных переходов (ЭСП) на основе плана обработки. ЭСП необходим для составления размерных цепей. ЭСП разрабатывается в порядке очередности выполнения операций, т.е. от заготовки к детали, начиная с первой заготовительной операции и заканчивая последней. Для построения ЭСП вначале составляется эскиз заготовки, проводя линии, определяющие её границы, и наносятся начальные условные размеры Н1, Н2, Н3, Н4 и Н5, Н6, Н7, Н8, Н9, Н10 над эскизом заготовки. Далее в порядке выполнения плана технологической обработки проставляются операционные и конструкторские размеры и припуски. Затем проставляются конструкторские размеры, которые могут быть равными операционным и не являются операционными, т.е. они в ходе операций не выполняются, а получается автоматически. В цепи должно быть только одно замыкающее звено.

Эскиз совмещенных переходов

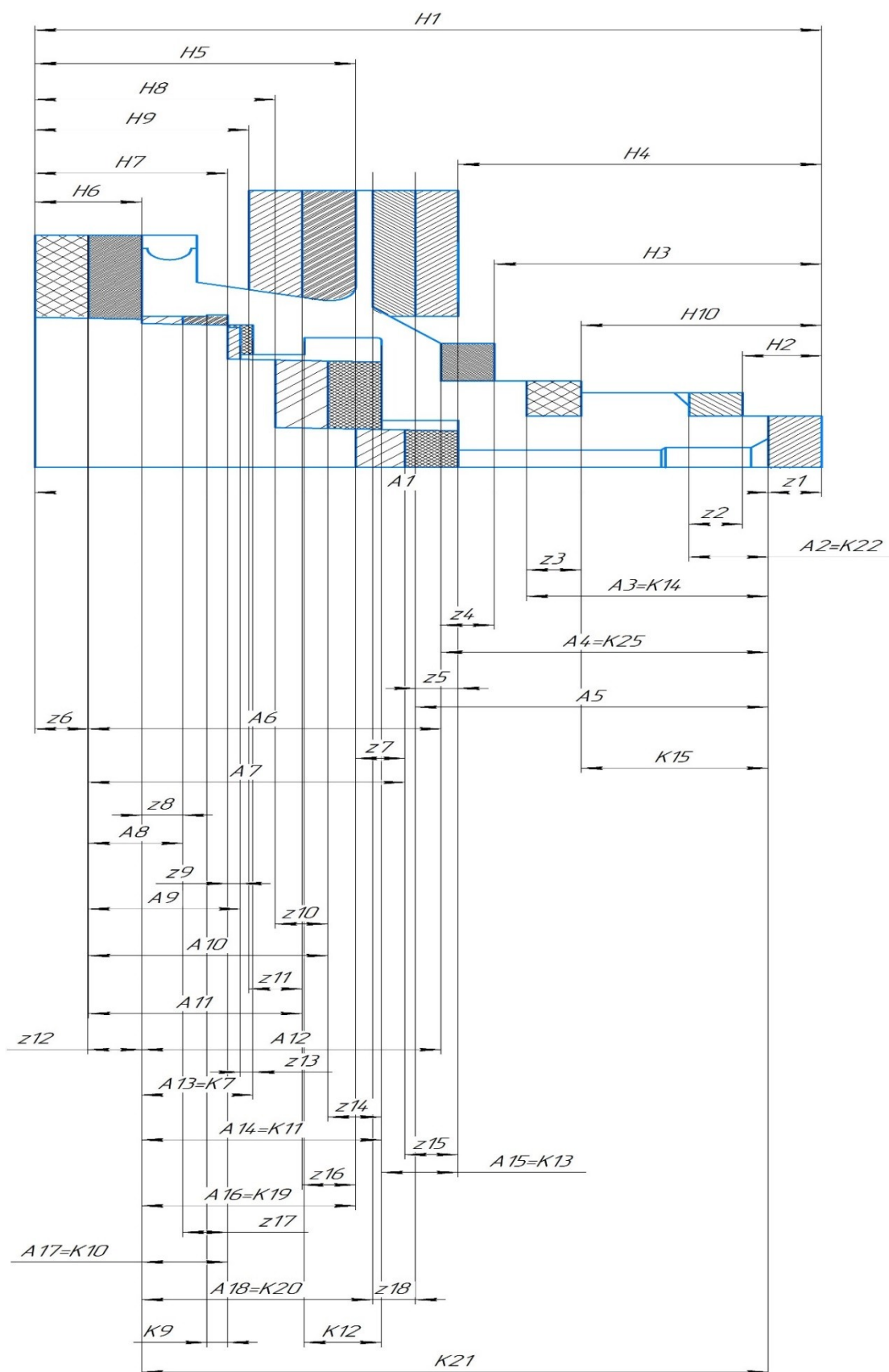


Рис. 13 - Эскиз совмещенных переходов осевых размеров

Осевые размерные цепи

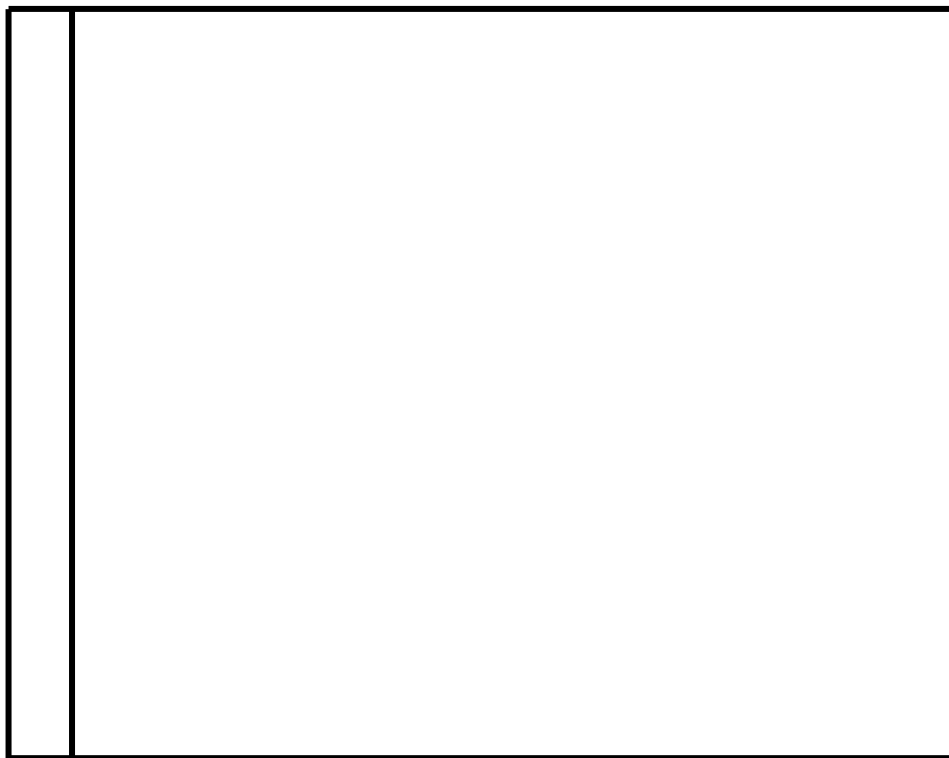


Рис. 14 Осевые размерные цепи

После построения всех размерных цепей составляется таблица, в которой определяется порядок решения цепей, где расчет начинается с последних цепей и заканчивается определением начальных размеров.

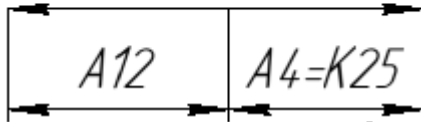
<i>№</i>	<i>№ цепи</i>	<i>закрывающее звено</i>	<i>определяемые размеры</i>
1	19 дополнительная	K21	A12; TA12
2	12	z12	A6
3	16	z16	A11
4	6	z6	A1
5	18	z18	A5
6	11	z11	H9
7	13	z13	A9
8	14	z14	A10
9	15	z15	A7
10	16	z16	Z16
11	17	z17	A8
12	10	z10	H8
13	9	z9	H7
14	8	z8	H6
15	7	z7	H5
16	1	z1	H1
17	2a	z2	H*
18	2δ	-	H2
19	3a	z3	H**
20	3δ	-	H10
21	4a	z4	H***
22	4δ	-	H3
23	5a	z5	H****
24	5δ	-	H4

Рис. 15 Порядок решения осевых размерных цепей

2.5. Расчет осевых размерных цепей

В своей работе я использовал вероятностный метод расчета размерных цепей способом средних значения или координат средин полей допусков.

19) дополнительная
K21



1. Размерная цепь №19(дополнительная):

Известно: $A4=K25=16^{(-0,18)}\text{мм};$

$K21=33,5^{+0,25}\text{мм}$

Найти: TA_{12}, A_{12}

Замыкающее звено: K21

Используем вероятностный метод:

$$T_{\Sigma} \geq \sqrt{\sum T_i^2};$$

$$T_{K21} \geq \sqrt{TA4^2 + TA12^2}$$

Допуск на размер A12 примем по средней экономической точности IT11.

$TA_{12}=0,11\text{мм}$

$$0,25 \geq \sqrt{0,18^2 + 0,011^2} - \text{верно}$$

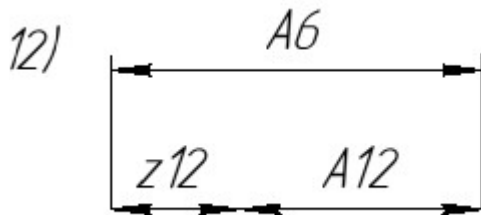
Найдём номинальный размер A12: $A_{\Sigma cp} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$

$$K21 = A12 + A4$$

$$A12 = K21 - A4 = 33,5 - 16 = 17,5$$

Тогда, задавая допуск по симметричной схеме, получим:

$$A12 = 17,5js11(\pm 0,055)$$



2. Размерная цепь №12:

Известно: $A12=17,5 \pm 0,055\text{мм};$

Найти: $TA_6; A_6$

Замыкающее звено: z12

Найдём максимальный припуск:

$$Z_{12\max} = z_{12\min} + \sqrt{TA_{12}^2 + TA_6^2}$$

Допуск на размер А6 примем по средней экономической точности IT11.

$$TA_6 = 0,11 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Z12min примем по ОСТ 1.41512-86, Z12min=0,5-0,18=0,32мм

$$z_{12\max} = 0,32 + \sqrt{0,11^2 + 0,11^2} = 0,4755 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{12cp} = \frac{z_{12\max} + z_{12\min}}{2} = \frac{0,4755 + 0,32}{2} = 0,39775 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

$$z_{12cp} = A_{6cp} - A_{12cp}$$

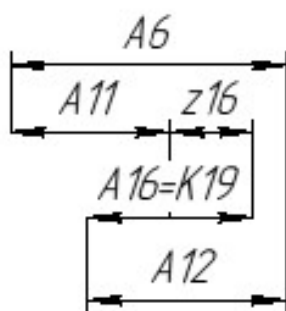
$$A_{6cp} = A_{12cp} + z_{12cp} = 17,5 + 0,39775 = 17,89775$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_6 = 18 \text{ js } 11 (\pm 0,055) \text{ мм}$$

3. Размерная цепь №16:

16/



Известно: A16=K19=12,5^(-0,11)мм;

$$A_6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$$

$$A_{12} = 17,5 \pm 0,055 \text{ мм};$$

Найти: TA11; A11

Замыкающее звено: z16

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{16\max} = z_{16\min} + \sqrt{TA_{16}^2 + TA_6^2 + TA_{11}^2 + TA_{12}^2}$$

Допуск на размер А11 примем по средней экономической точности IT11.

$$TA_{11} = 0,11 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Z_{12min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{12min}=0,5-0,18=0,32\text{мм}$

$$z_{16max} = 0,32 + \sqrt{0,11^2 + 0,11^2 + 0,11^2 + 0,11^2} = 0,54\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{16cp} = \frac{z_{16max} + z_{16min}}{2} = \frac{0,54 + 0,32}{2} = 0,43\text{мм}$$

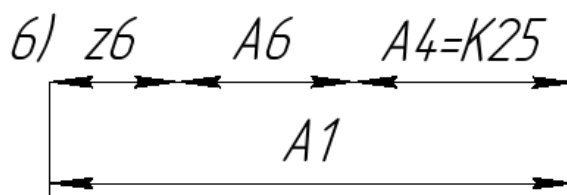
Следовательно, получаем:

$$z_{16cp} = A_{6cp} + A_{16cp} - A_{12cp} - A_{11cp}$$

$$A_{11cp} = A_{6cp} + A_{16cp} - A_{12cp} - z_{16cp} = 18 + 12,39 - 17,5 - 0,43 = 12,46\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_{11} = 12,5 \text{ js } 11 (\pm 0,055)\text{мм}$$



4. Размерная цепь №6:

Известно: $A_4 = K25 = 16^{(+0,18)}\text{мм}$

$A_6 = 18 \pm 0,055\text{мм}$;

Найти: TA_1 ; A_1

Замыкающее звено: z_6

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{6max} = z_{6min} + \sqrt{TA_1^2 + TA_6^2 + TA_4^2}$$

Допуск на размер A_{11} примем по средней экономической точности IT11.

$$TA_{11} = 0,16\text{мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Z_{12min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{12min}=0,6-0,25=0,35\text{мм}$

$$z_{6max} = 0,35 + \sqrt{0,16^2 + 0,11^2 + 0,18^2} = 0,6148\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{6cp} = \frac{z_{6max} + z_{6min}}{2} = \frac{0,6148 + 0,35}{2} = 0,4824 \text{ мм}$$

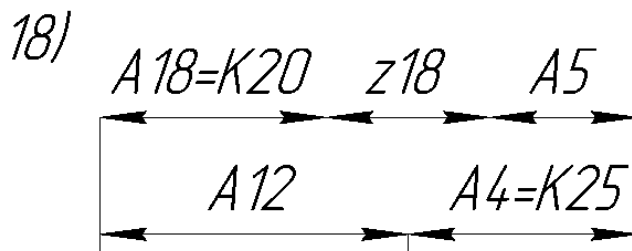
Следовательно, получаем:

$$z_{6cp} = A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp}$$

$$A1_{cp} = A6_{cp} + A4_{cp} + z_{12cp} = 18 + 16,18 + 0,4824 = 34,6624 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A1 = 34,8 \text{ js } 11 (\pm 0,08) \text{ мм}$$



5. Размерная цепь №18:

Известно: $A4 = K25 = 16^{(+0,18)} \text{ мм}$

$A18 = K20 = 13,5^{(-0,11)} \text{ мм};$

$A12 = 17,5 (\pm 0,055)$

Найти: $TA5$; $A5$

Замыкающее звено: $z18$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{18max} = z_{18min} + \sqrt{TA4^2 + TA18^2 + TA12^2 + TA5^2}$$

Допуск на размер $A5$ примем по средней экономической точности IT11.

$$TA5 = 0,13 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{Ai} - \sum \vec{Ai}$$

$Z18min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z18min = 0,6 - 0,13 = 0,47 \text{ мм}$

$$z_{18max} = 0,47 + \sqrt{0,18^2 + 0,11^2 + 0,11^2 + 0,13^2} = 0,7411 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{18cp} = \frac{z_{18max} + z_{18min}}{2} = \frac{0,7411 + 0,47}{2} = 0,6055 \text{ мм}$$

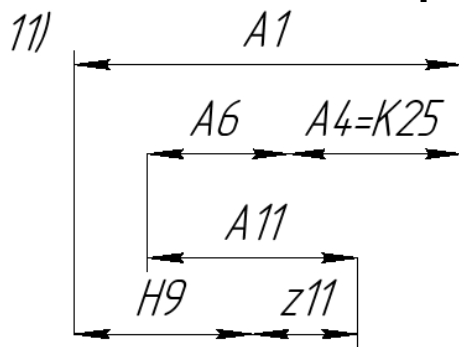
Следовательно, получаем:

$$z_{6cp} = -A18_{cp} + A12_{cp} + A4_{cp} - A5_{cp}$$

$$A5_{cp} = -A18_{cp} + A12_{cp} + A4_{cp} - z_{12cp} = -13,39 + 17,5 + 16,18 - 0,6055 = 19,6845 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A5 = 19,8 \text{ js } 11 (\pm 0,065) \text{ мм}$$



6. Размерная цепь №11:

Известно: $A4 = K25 = 16^{(+0,18)} \text{ мм}$

$$A6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$$

$$A1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм};$$

$$A11 = 12,5 (\pm 0,055) \text{ мм};$$

Найти: TH9; H9

Замыкающее звено: z11

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{11max} = z_{11min} + \sqrt{TA4^2 + TA6^2 + TA1^2 + TA11^2 + TH9^2}$$

Допуск на размер H9 примем по средней экономической точности IT14.

$$TH9 = 0,43 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{Ai} - \sum \vec{Ai}$$

Z11min примем по ОСТ 1.41512-86, Z11min = 0,5 - 0,18 = 0,32 мм

$$z_{11max} = 0,32 + \sqrt{0,18^2 + 0,11^2 + 0,16^2 + 0,11^2 + 0,43^2} = 0,8368 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{11cp} = \frac{z_{11max} + z_{11min}}{2} = \frac{0,8368 + 0,32}{2} = 1,1568 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

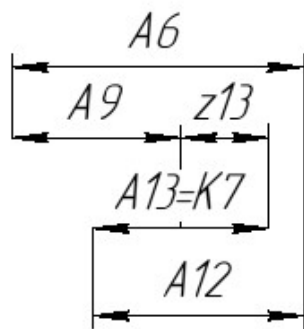
$$z_{11cp} = -H9_{cp} + A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp} + A11_{cp}$$

$$H9_{cp} = A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp} + A11_{cp} - z_{11cp} = 34,8 - 16,18 - 18 + 12,5 - 1,1568 = 11,9632 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H 9 = 12 \text{ js } 14 (\pm 0.215) \text{ мм}$$

13)



7. Размерная цепь №13:

Известно: $A_{13} = K7 = 6,5^{(+0,09)} \text{ мм}$

$$A_6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$$

$$A_{12} = 17,5 (\pm 0,055) \text{ мм}$$

Найти: TA_9 ; A_9

Замыкающее звено: z_{13}

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{13 \max} = z_{13 \min} + \sqrt{TA_{13}^2 + TA_6^2 + TA_{12}^2 + TA_9^2}$$

Допуск на размер A_9 примем по средней экономической точности IT12.

$$TA_9 = 0,15 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma \text{cp}} = \sum \vec{A}_i - \sum \vec{A}_i$$

$Z_{13 \min}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{11 \min} = 0,5 - 0,11 = 0,39 \text{ мм}$

$$z_{13 \max} = 0,39 + \sqrt{0,09^2 + 0,11^2 + 0,11^2 + 0,15^2} = 0,6241 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{13 \text{cp}} = \frac{z_{13 \max} + z_{13 \min}}{2} = \frac{0,6241 + 0,39}{2} = 0,507 \text{ мм}$$

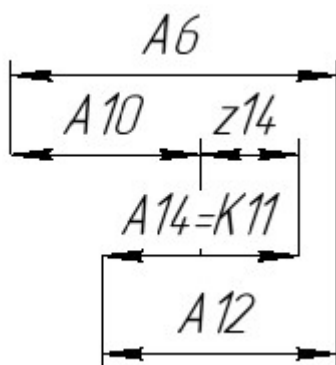
Следовательно, получаем:

$$z_{13 \text{cp}} = -A_{9 \text{cp}} + A_{6 \text{cp}} - A_{12 \text{cp}} + A_{13 \text{cp}}$$

$$A_{9 \text{cp}} = A_{6 \text{cp}} - A_{12 \text{cp}} + A_{13 \text{cp}} - z_{13 \text{cp}} = 18 - 17,5 + 6,59 - 0,507 = 6,583 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

14)



$$A_9 = 6,6 \text{ js } 12 (\pm 0.075) \text{ мм}$$

8. Размерная цепь №14:

Известно: $A_{14} = K11 = 14_{(-0,18)} \text{ мм}$

$$A_6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$$

$$A_{12} = 17,5 (\pm 0,055) \text{ мм}$$

Найти: TA_{10} ; A_{10}

Замыкающее звено: z_{14}

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{14 \max} = z_{14 \min} + \sqrt{TA_{14}^2 + TA_6^2 + TA_{12}^2 + TA_{10}^2}$$

Допуск на размер A_{10} примем по средней экономической точности IT12.

$$TA_{10} = 0,18 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma \text{cp}} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

$$Z_{14 \min} \text{ примем по ОСТ 1.41512-86, } Z_{14 \min} = 0,5 - 0,18 = 0,32 \text{ мм}$$

$$z_{14 \max} = 0,32 + \sqrt{0,18^2 + 0,11^2 + 0,11^2 + 0,18^2} = 0,6183 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{14 \text{cp}} = \frac{z_{14 \max} + z_{14 \min}}{2} = \frac{0,6183 + 0,32}{2} = 0,469 \text{ мм}$$

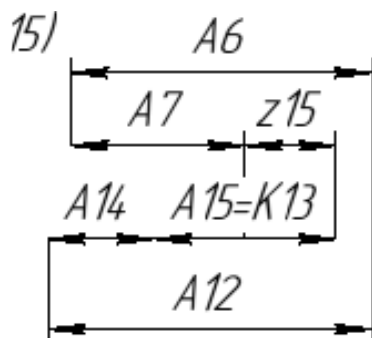
Следовательно, получаем:

$$z_{14 \text{cp}} = -A_{10 \text{cp}} + A_6 - A_{12} + A_{14 \text{cp}}$$

$$A_{10 \text{cp}} = A_6 - A_{12} + A_{14 \text{cp}} - z_{14 \text{cp}} = 18 - 17,5 + 14,18 - 0,469 = 14,211 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_{10} = 14,3 \text{ js } 12 (\pm 0,09) \text{ мм}$$



9. Размерная цепь №15:

$$\text{Известно: } A_{15} = K_{11} = 4,5 (-0,12) \text{ мм}$$

$$A_{14} = K_{11} = 14 (-0,18) \text{ мм}$$

$$A_6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$$

$$A_{12} = 17,5 (\pm 0,055) \text{ мм}$$

Найти: TA_7 ; A_7

Замыкающее звено: z15

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{15max} = z_{15min} + \sqrt{TA_{14}^2 + TA_6^2 + TA_{12}^2 + TA_{15}^2 + TA_7^2}$$

Допуск на размер A7 примем по средней экономической точности IT12.

$$TA_7 = 0,21 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{Ai} - \sum \vec{Ai}$$

Z15min примем по ОСТ 1.41512-86, Z15min=0,5-0,18=0,32мм

$$z_{15max} = 0,32 + \sqrt{0,18^2 + 0,11^2 + 0,11^2 + 0,12^2 + 0,21^2} = 0,6592 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{15cp} = \frac{z_{15max} + z_{15min}}{2} = \frac{0,6592 + 0,32}{2} = 0,4896 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

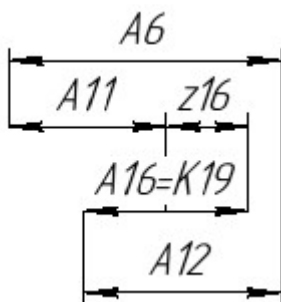
$$z_{15cp} = -A_{7cp} + A_{6cp} - A_{12cp} + A_{14cp} + A_{15cp}$$

$$A_{7cp} = A_{6cp} - A_{12cp} + A_{14cp} + A_{15cp} - z_{15cp} = 18 - 17,5 + 14,18 + 4,62 - 0,4896 = 18,81 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_7 = 18,9 \text{ js } 12 (\pm 0,105) \text{ мм}$$

16)



10. Размерная цепь №16:

Известно: A16=K19=12,5^(+0,11) мм

$$A_6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$$

$$A_{12} = 17,5 (\pm 0,055) \text{ мм}$$

Найти: TA11; A11

Замыкающее звено: z16

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{16max} = z_{16min} + \sqrt{TA_{16}^2 + TA_6^2 + TA_{12}^2 + TA_{11}^2}$$

Допуск на размер A11 примем по средней экономической точности IT10.

$$TA_{11}=0,11\text{мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Z_{16min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{16min}=0,5-0,11=0,39\text{мм}$

$$z_{16max} = 0,39 + \sqrt{0,11^2 + 0,11^2 + 0,11^2 + 0,11^2} = 0,61\text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{16cp} = \frac{z_{16max} + z_{16min}}{2} = \frac{0,61 + 0,39}{2} = 0,5\text{ мм}$$

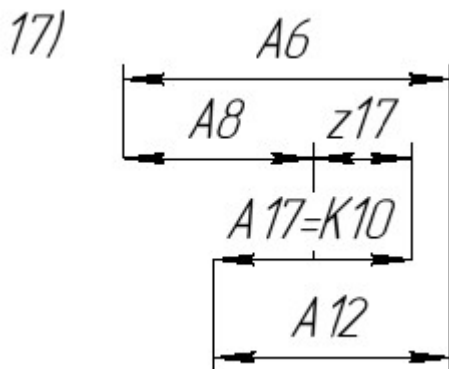
Следовательно, получаем:

$$z_{16cp} = -A_{11cp} + A_{6cp} - A_{12cp} + A_{16cp}$$

$$A_{11cp} = A_{6cp} - A_{12cp} + A_{16cp} - z_{16cp} = 18 - 17,5 + 12,61 - 0,5 = 12,61\text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_{11} = 12,7 js_{11} (\pm 0,055)\text{ мм}$$



11. Размерная цепь №17:

Известно: $A_{17}=K_{10}=5^{(+0,12)}\text{ мм}$

$A_6=18\pm 0,055\text{ мм};$

$A_{12}=17,5(\pm 0,055)\text{ мм}$

Найти: TA_8 ; A_8

Замыкающее звено: z_{17}

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{17max} = z_{17min} + \sqrt{TA_{17}^2 + TA_6^2 + TA_{12}^2 + TA_8^2}$$

Допуск на размер A_8 примем по средней экономической точности IT12.

$$TA_8=0,12\text{мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Z_{17min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{17min}=0,5-0,15=0,35\text{мм}$

$$z_{17\max} = 0,35 + \sqrt{0,12^2 + 0,11^2 + 0,11^2 + 0,12^2} = 0,58 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{17\text{cp}} = \frac{z_{17\max} + z_{17\min}}{2} = \frac{0,58 + 0,35}{2} = 0,465 \text{ мм}$$

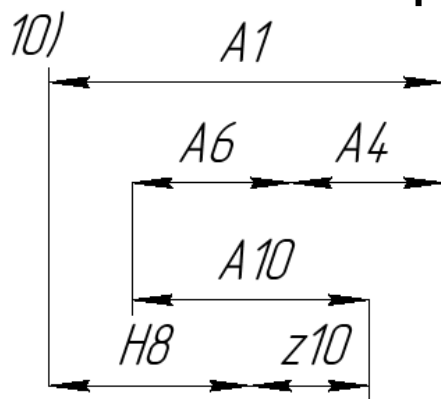
Следовательно, получаем:

$$z_{17\text{cp}} = -A_{8\text{cp}} + A_{6\text{cp}} - A_{12\text{cp}} + A_{17\text{cp}}$$

$$A_{8\text{cp}} = A_{6\text{cp}} - A_{12\text{cp}} + A_{17\text{cp}} - z_{17\text{cp}} = 18 - 17,5 + 5,12 - 0,465 = 5,155 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_8 = 5,2 \text{ js } 12 (\pm 0,06) \text{ мм}$$



12. Размерная цепь №10:

$$\text{Известно: } A_1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$$

$$A_6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$$

$$A_{10} = 14,3 (\pm 0,09) \text{ мм}$$

$$A_4 = K25 = 16^{(-0,18)} \text{ мм};$$

Найти: TH8; H8

Замыкающее звено: z10

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{10\max} = z_{10\min} + \sqrt{TA_1^2 + TA_6^2 + TA_4^2 + TH_8^2 + TA_{10}^2}$$

Допуск на размер H8 примем по средней экономической точности IT14.

$$TH_8 = 0,43 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma\text{cp}} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

$$Z_{10\min} \text{ примем по ОСТ 1.41512-86, } Z_{10\min} = 0,5 - 0,18 = 0,32 \text{ мм}$$

$$z_{10\max} = 0,32 + \sqrt{0,16^2 + 0,11^2 + 0,18^2 + 0,43^2 + 0,18^2} = 0,8561 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{10cp} = \frac{z_{10max} + z_{10min}}{2} = \frac{0,8561 + 0,32}{2} = 0,588 \text{ мм}$$

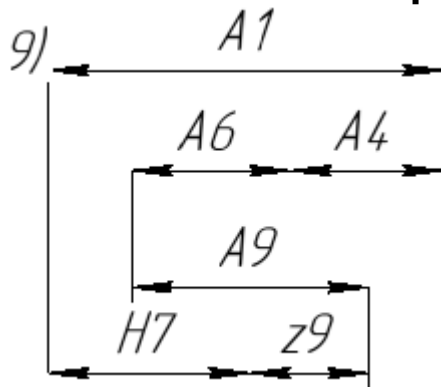
Следовательно, получаем:

$$z_{10cp} = -H8_{cp} + A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp} + A10_{cp}$$

$$H8_{cp} = A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp} + A10_{cp} - z_{10cp} = 34,8 - 16,18 - 18 + 14,3 - 0,588 = 14,332 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H8 = 14,4 \text{ js } 14 (\pm 0,215) \text{ мм}$$



13. Размерная цепь №9:

Известно: $A1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$

$A6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$

$A9 = 6,6 (\pm 0,075) \text{ мм}$

$A4 = K25 = 16^{(-0,18)} \text{ мм};$

Найти: $TH7; H7$

Замыкающее звено: $z9$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{9max} = z_{9min} + \sqrt{TA1^2 + TA6^2 + TA4^2 + TH7^2 + TA9^2}$$

Допуск на размер $H7$ примем по средней экономической точности IT14.

$$TH7 = 0,36 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{Ai} - \sum \vec{Ai}$$

$Z9min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z9min = 0,5 - 0,15 = 0,35 \text{ мм}$

$$z_{9max} = 0,35 + \sqrt{0,16^2 + 0,11^2 + 0,18^2 + 0,36^2 + 0,15^2} = 0,8214 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{9cp} = \frac{z_{9max} + z_{9min}}{2} = \frac{0,8214 + 0,35}{2} = 0,586 \text{ мм}$$

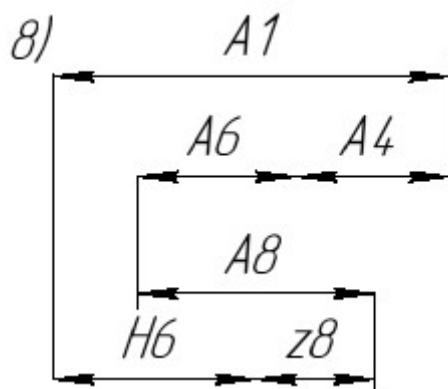
Следовательно, получаем:

$$z_{9cp} = -H7_{cp} + A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp} + A9_{cp}$$

$$H7_{cp} = A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp} + A9_{cp} - z_{9cp} = 34,8 - 16,18 - 18 + 6,6 - 0,586 = 6,634 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H7 = 6,8 \text{ js } 14 (\pm 0,18) \text{ мм}$$



14. Размерная цепь №8:

Известно: $A1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$

$A6 = 18 \pm 0,055 \text{ мм};$

$A8 = 5,2 (\pm 0,06) \text{ мм}$

$A4 = K25 = 16^{(-0,18)} \text{ мм};$

Найти: $TH6; H6$

Замыкающее звено: $z8$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{8max} = z_{8min} + \sqrt{TA1^2 + TA6^2 + TA4^2 + TH6^2 + TA8^2}$$

Допуск на размер $H7$ примем по средней экономической точности IT14.

$$TH7 = 0,3 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{Ai} - \sum \vec{Ai}$$

$Z8min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z8min = 0,5 - 0,15 = 0,35 \text{ мм}$

$$z_{8max} = 0,35 + \sqrt{0,16^2 + 0,11^2 + 0,18^2 + 0,3^2 + 0,12^2} = 0,7677 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{8cp} = \frac{z_{8max} + z_{8min}}{2} = \frac{0,7677 + 0,35}{2} = 0,559 \text{ мм}$$

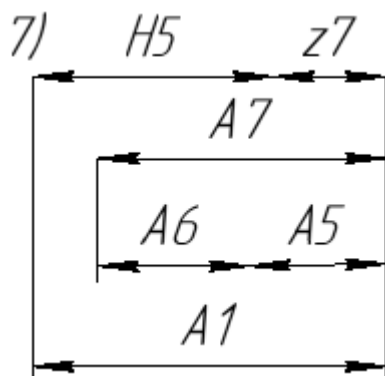
Следовательно, получаем:

$$z_{8cp} = -H6_{cp} + A1_{cp} - A4_{cp} - A6_{cp} + A8_{cp}$$

$$H 6_{cp} = A 1_{cp} - A 4_{cp} - A 6_{cp} + A 8_{cp} - z_{8cp} = 34,8 - 16,18 - 18 + 5,2 - 0,559 = 5,261 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H 6 = 5,3 \text{ js } 14 (\pm 0,15) \text{ мм}$$



15 Размерная цепь №7:

Известно: $A 1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$

$$A 4 = K 25 = 16 ({}^{-0,18}) \text{ мм};$$

$$A 5 = 19,8 (\pm 0,065) \text{ мм}$$

$$A 7 = 18,9 (\pm 0,105) \text{ мм}$$

Найти: TH5; H5

Замыкающее звено: z7

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{7max} = z_{7min} + \sqrt{TA 1^2 + TA 4^2 + TA 5^2 + TH 5^2 + TA 7^2}$$

Допуск на размер H5 примем по средней экономической точности IT 14.

$$TH 5 = 0,43 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Z_{7min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{7min} = 0,5 - 0,15 = 0,35 \text{ мм}$

$$z_{7max} = 0,35 + \sqrt{0,16^2 + 0,11^2 + 0,13^2 + 0,43^2 + 0,21^2} = 0,8825 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{7cp} = \frac{z_{7max} + z_{7min}}{2} = \frac{0,8825 + 0,35}{2} = 0,6163 \text{ мм}$$

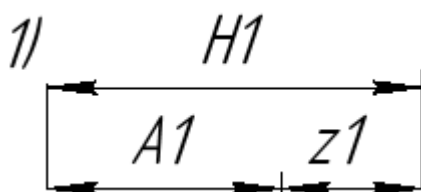
Следовательно, получаем:

$$z_{7cp} = -H 5_{cp} + A 1_{cp} - A 5_{cp} - A 4_{cp} + A 7_{cp}$$

$$H 5_{cp} = A 1_{cp} - A 5_{cp} - A 4_{cp} + A 7_{cp} - z_{7cp} = 34,8 - 19,8 - 18 + 18,9 - 0,6163 = 17,284 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H_5 = 17,3 \text{ js } 14 (\pm 0.215) \text{ мм}$$



16. Размерная цепь №1:

Известно: $A_1 = 34.8 (+0.08) \text{ мм}$

Найти: TH_1 ; H_1

Замыкающее звено: z_1

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A}_i - \sum \vec{A}_j$$

Z_{1min} определяем расчетно-аналитическим методом

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.

$$z_{imin} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \text{ где}$$

Rz_{i-1} – высота неровностей профиля, полученная на предшествующем переходе обработки данной поверхности. Данная величина зависит от метода, режимов и условий выполнения предшествующей обработки.

T_{i-1} – состояние и глубина поверхностного слоя, полученные на предшествующем технологическом переходе. Данный слой отличается от основного металла по механическим свойствам, наличию остаточных напряжений и структуре

ρ_{i-1} – суммарное значение пространственных отклонений в расположении обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки, оставшихся после выполнения предшествующего перехода. В нашем случае данное значение равно нулю.

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе. Данная погрешность состоит из суммы погрешности базирования, погрешности закрепления и погрешности приспособления. В нашем случае погрешность базирования отсутствует, так как технологическая и измерительная базы совпадают, а погрешность приспособления трудно выявить как

самостоятельное значение, поэтому его учитывают, как входящее в погрешность закрепления. Соответственно будем считать, что погрешность установки равна погрешности закрепления.

Найдем минимальный припуск:

$$Z_{1min} = \frac{40}{1000} + \frac{150}{1000} + \sqrt{1^2} = 1,19 \text{ мм}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{1max} = z_{1min} + \sqrt{T H 1^2 + T A 1^2}$$

Допуск на размер $\phi H1$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{H1} = 1,1 \text{ мм}$$

$$z_{1max} = 1,19 + \sqrt{1,1^2 + 0,11^2} = 2,295 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{1cp} = \frac{z_{1max} + z_{1min}}{2} = \frac{2,295 + 1,19}{2} = 1,7425 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

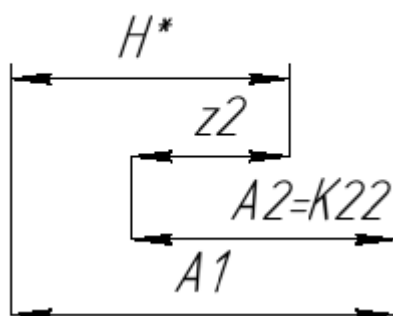
$$z_{1cp} = -A1_{cp} + H1_{cp}$$

$$H1_{cp} = A1_{cp} + z_{1cp} = 34,8 + 1,7425 = 36,5425 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H1 = 36,6 (\pm 0,55) \text{ мм}$$

2a (вспомогательная)



17. Размерная цепь №2a (вспомогательная):

$$\text{Известно: } A1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$$

$$A2 = K22 = 1,5h12_{(-0,1)} \text{ мм}$$

Найти: H^*

Замыкающее звено: $z2$

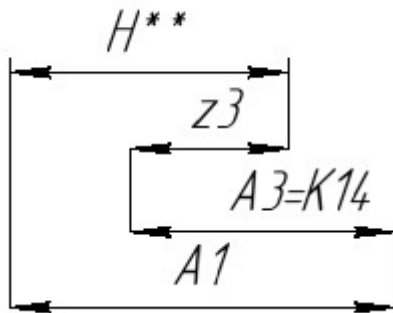
Найдем максимальный припуск:

$$Z_{2max} = z_{2min} + \sqrt{T H^i 2^2 + T A 1^2 + T A 2^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

3а (вспомогательная)

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$



Допуск на размер Н* примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов».

Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$TH^* = 1 \text{ мм}$$

$$Z_{2min} \text{ примем по ОСТ 1.41512-86, } Z_{2min} = 0,6 - 0,25 = 0,35 \text{ мм}$$

$$z_{2max} = 0,35 + \sqrt{1^2 + 0,16^2 + 0,1^2} = 1,368 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{2cp} = \frac{z_{2max} + z_{2min}}{2} = \frac{1,368 + 0,35}{2} = 0,859 \text{ мм}$$

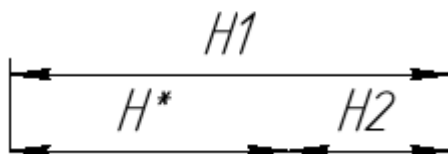
Следовательно, получаем: $z_{2cp} = A_{2cp} + H_{cp}^i - A_{1cp}$

$$H_{cp}^i = A_{1cp} - A_{2cp} + z_{2cp} = 34,8 - 1,6 + 0,859 = 34,059 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

2б (вспомогательная)

$$H^i = 34,3 (\pm 0,5) \text{ мм}$$



18. Размерная цепь №2б (вспомогательная):

$$\text{Известно: } H^i = 34,3 (\pm 0,5) \text{ мм}$$

$$H1 = 36,6 (\pm 0,55) \text{ мм}$$

Найти: H2

$$H1 = H2 + H^*$$

$$H2 = H1 - H^* = 36,6 - 34,3 = 2,3 \text{ мм}$$

полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$H2 = 2,3 (\pm 0,2) \text{ мм}$$

19. Размерная цепь №3а (вспомогательная):

Известно: $A_1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$

$A_3 = K14 = 11h12 (-0,18) \text{ мм}$

Найти: H^{**}

Замыкающее звено: z_3

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{3\max} = z_{3\min} + \sqrt{TH^{i*2} + TA_1^2 + TA_3^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma\text{cp}} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Допуск на размер H^{**} примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$TH^{**} = 1,4 \text{ мм}$

$Z_{3\min}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{3\min} = 0,5 - 0,18 = 0,32 \text{ мм}$

$$z_{3\max} = 0,32 + \sqrt{1,4^2 + 0,16^2 + 0,18^2} = 1,74 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{3\text{cp}} = \frac{z_{3\max} + z_{3\min}}{2} = \frac{1,74 + 0,32}{2} = 1,03$$

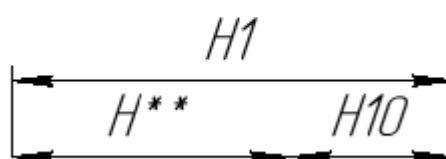
Следовательно, получаем: $z_{3\text{cp}} = A_{3\text{cp}} + H_{\text{cp}}^{i*} - A_{1\text{cp}}$

$$H_{\text{cp}}^{i*} = A_{1\text{cp}} - A_{3\text{cp}} + z_{3\text{cp}} = 34,8 - 11,18 + 1,03 = 24,65 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{i*} = 24,8 (\pm 0,4) \text{ мм}$$

38 (вспомогательная)



20. Размерная цепь №38 (вспомогательная):

Известно: $H^{i*} = 24,8 (\pm 0,4) \text{ мм}$

$H_1 = 36,6 (\pm 0,55) \text{ мм}$

Найти: H_{10}

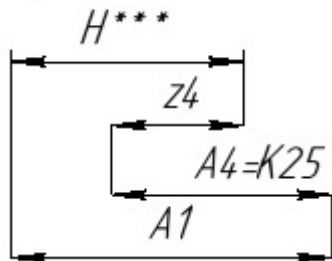
$$H_1 = H_5 + H^{**}$$

$$H_{10} = H_1 - H^{**} = 36,6 - 24,8 = 11,8 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$H_{10} = 11,8 (\pm 0,4) \text{ мм}$$

4а (вспомогательная)



21. Размерная цепь №4а (вспомогательная):

Известно: $A_1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$

$A_4 = K_{25} = 16^{(-0,18)} \text{ мм};$

Найти: H^{***}

Замыкающее звено: z_4

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{4\max} = z_{4\min} + \sqrt{T_{H^{i*i2}} + T_{A1}^2 + T_{A4}^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Допуск на размер H^{**} примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{H^{**}} = 1,4 \text{ мм}$$

$z_{4\min}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $z_{4\min} = 0,5 - 0,18 = 0,32 \text{ мм}$

$$z_{4\max} = 0,32 + \sqrt{1,4^2 + 0,16^2 + 0,18^2} = 1,74 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{4cp} = \frac{z_{4\max} + z_{4\min}}{2} = \frac{1,74 + 0,32}{2} = 1,03$$

Следовательно, получаем: $z_{4cp} = A_{4cp} + H^{i*i}_{cp} - A_{1cp}$

$$H^{i*i}_{cp} = A_{1cp} - A_{4cp} + z_{4cp} = 34,8 - 16,18 + 1,03 = 19,65 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{i*i} = 19,8 (\pm 0,4) \text{ мм}$$

22. Размерная цепь №4б (вспомогательная):

4б (вспомогательная)

Известно: $H_{\text{с.к.}} = 19,8 (\pm 0,4) \text{ мм}$

$H_1 = 36,6 (\pm 0,55) \text{ мм}$



Найти: H_3

$$H_1 = H_3 + H_{***}$$

$$H_3 = H_1 - H_{***} = 36,6 - 19,8 = 16,8 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

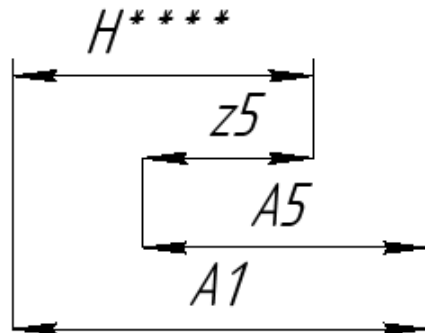
$$H_3 = 16,8 (\pm 0,6) \text{ мм}$$

5а (вспомогательная)

23. Размерная цепь №5а (вспомогательная):

Известно: $A_1 = 34,8 (\pm 0,08) \text{ мм}$

$A_5 = 19,8 (\pm 0,065) \text{ мм}$



Найти: H_{****}

Замыкающее звено: z_5

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{5\max} = z_{5\min} + \sqrt{T H_{\text{с.к.}}^2 + T A_1^2 + T A_5^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma \text{ср}} = \sum \vec{A}_i - \sum \vec{A}_i$$

Допуск на размер H_{**} примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T H_{**} = 1,2 \text{ мм}$$

$$Z_{5\min} \text{ примем по ОСТ 1.41512-86, } Z_{5\min} = 0,5 - 0,18 = 0,32 \text{ мм}$$

$$z_{5\max} = 0,32 + \sqrt{1,2^2 + 0,16^2 + 0,13^2} = 1,54 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{5cp} = \frac{z_{5max} + z_{5min}}{2} = \frac{1,54 + 0,32}{2} = 0,93$$

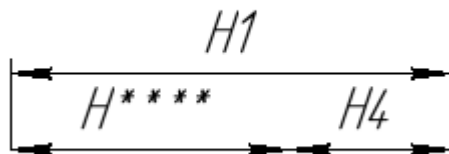
Следовательно, получаем: $z_{5cp} = A5_{cp} + H_{cp}^{i*i*i} - A1_{cp}^i$

$$H_{cp}^{i*i*i} = A1_{cp} - A5_{cp} + z_{5cp} = 34,8 - 19,8 + 0,93 = 15,93 \text{ мм}^i$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{i*i} = 16 (\pm 0,4) \text{ мм}$$

5б (вспомогательная)



22. Размерная цепь №5б (вспомогательная):

Известно: $H^{i*i*i} = 16 (\pm 0,4) \text{ мм}^i$

$$H1 = 36,6 (\pm 0,55) \text{ мм}$$

Найти: H4

$$H1 = H4 + H^{***}$$

$$H4 = H1 - H^{***} = 36,6 - 16 = 20,6 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$H4 = 20,6 (\pm 0,6) \text{ мм}$$

Таблица 13 Осевые операционные размеры и припуски

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Zmin	Zmax	Zcp	Метод расчета припуска
K9	K9=1,2(±0,2) мм	Получается за счет напуска			
K12	K12=4,5h12 _(-0,12) мм	Получается за счет напуска			
K15	K15=2мм	Получается за счет напуска			

K16	K16=0,5(±0,2) мм	Получается за счет напуска			
K21	K21=33,5H12 ^{+0,25} мм	Получается за счет напуска			
A2=K22	A2=K22=1,5h12 _(-0,1) мм	0,35	1,368	0,859	вероятностный
A3=K14	A3=K14=11h12 _(-0,18) мм	0,32	1,74	1,03	вероятностный
A4=K25	A4=K25=16H12 ^(+0,18) мм	0,32	1,74	1,03	вероятностный
A13=K7	A13=K7=6,5H12 ^(+0,09) мм	0,32	0,618	0,507	вероятностный
A14=K11	A14=K11=14h12 _(-0,18) мм	0,39	0,606	0,469	вероятностный
A15=K13	A15=K13=4,5h12 _(-0,12) мм	0,32	0,659	0,4896	вероятностный
A16=K19	A16=K19=12,5H12 ^(+0,11) мм	0,39	0,61	0,5	вероятностный
A17=K10	A17=K10=5H11 ^(+0,12) мм	0,35	0,58	0,465	вероятностный
A18=K20	A18=K20=16H12 ^(+0,18) мм	0,47	0,741	0,6055	вероятностный
A1	A1=34,8 js 11 (± 0.08) мм	1,19	2,295	1,7425	вероятностный
A5	A5=19,8 js 11 (± 0.065) мм	0,47	0,741	0,6055	вероятностный
A6	A6=18 js 11 (± 0.055) мм	0,32	0,475	0,398	вероятностный
A7	A7=18,9 js 12 (± 0.105) мм	0,32	0,659	0,4896	вероятностный
A8	A8=5,2 js 12 (± 0.06) мм	0,35	0,58	0,465	вероятностный
A9	A9=6,6 js 12 (± 0.075) мм	0,39	0,624	0,507	вероятностный
A10	A10=14,3 js 12 (± 0.09) мм	0,32	0,618	0,469	вероятностный
A11	A11=12,5 js 11 (± 0.055) мм	0,79	1,909	1,35	вероятностный
A12	A12=17,5js11(±0,055)	0,79	1,909	1,35	вероятностный
H10	H 10=11,8 (± 0,2) мм	-	-	-	-
H9	H 9=12 (± 0.215) мм	-	-	-	-
H8	H 8=14,4 (± 0.215) мм	-	-	-	-
H7	H 7=6,8 (± 0.18) мм	-	-	-	-
H6	H 6=5,3 (± 0.15) мм	-	-	-	-
H5	H 5=15,3 (± 0.215) мм	-	-	-	-

H4	$H\ 4=20,6(\pm 0,6)\text{ мм}$	-	-	-	-
H3	$H\ 3=16,8(\pm 0,4)\text{ мм}$	-	-	-	-
H2	$H\ 2=2,3(\pm 0,2)\text{ мм}$	-	-	-	-
H1	$H1=36,6(\pm 0,55)\text{ мм}$	-	-	-	-

2.6 Размерный анализ технологического процесса

Размерный анализ проводится для:

- проверки оптимальности разработанного плана технологического процесса, которая достаточно часто возникает при производственной разработке технологических процессов;
- при проектной разработке, выполняемой неопытными технологами.

Таблица 14 Достижение заданной точности осевых размеров

В рабочем чертеже	Как выдерживается в технологическом процессе	Как заданы операционные допуски
$K7=6,5H12(^{+0,09})\text{ мм}$	Непосредственно чистовым подрезанием торца $A13=K7$	$A13=6,5H12(^{+0,09})\text{ мм}$ внутриоперационный размер
$K9=1,2(\pm 0,2)\text{ мм}$	Непосредственно чистовым точением $K\ 9_{cp}=1,2(\pm 0,2)$	$K9=1,2(\pm 0,2)\text{ мм}$ – внутриоперационный размер
$K10=5H11(^{+0,12})\text{ мм}$	Непосредственно чистовым точением $A17=K10$	$A17=K10=5H11(^{+0,12})\text{ мм}$ – внутриоперационный размер
$K11=A14=14h12(_{-0,18})\text{ мм}$	Непосредственно чистовым точением $K11_{cp}=13,91(\pm 0,09)\text{ мм}$	$A14=K11=14h12(_{-0,18})\text{ мм}$ – внутриоперационный размер
$K12=4,5h12(_{-0,12})\text{ мм}$	Непосредственно чистовым точением	$K12=4,5h12(_{-0,12})\text{ мм}$ внутриоперационный

	K12 _{ср} =4,44(± 0,06)мм	размер
K13=4,5h12 _(-0,12) мм	Непосредственно чистовым подрезанием торца K13 _{ср} =4,44(± 0,06)мм	K13=4,5 _(-0,12) мм– внутриоперационный размер
K14=11h12 _(-0,18) мм	Непосредственно черновым подрезанием торца A3=K14 _{ср} =10,91(± 0,09)мм	K14=11h12 _(-0,18) мм – внутриоперационный размер
K15=2мм	Непосредственно черновым точением канавки	K15=2мм- внутриоперационный размер
K16=0,5(±0,2) мм	Непосредственно чистовым точением фаски K16 _{ср} =0,5(±0,2) мм	K16=0,5(±0,2) мм - внутриоперационный размер
K19=12,5H12 _(+0,11) мм	Непосредственно чистовым подрезанием торца A16=K19 _{ср} =12,555(± 0,055)мм	K19=12,5H12 _(+0,11) мм- внутриоперационный размер
K20=16H12 _(+0,18) мм	Непосредственно чистовым подрезанием торца A18=K20 _{ср} =16,09(± 0,09)мм	K20=16H12 _(+0,18) мм - межоперационный размер
K21=33,5H11 _(+0,25) мм	Как замыкающее звено размерной цепи №19(вероятностный метод) $T_{K21} \geq \sqrt{TA4^2 + TA12^2}$	Межоперационный ТА4=0,18 мм, Внутриоперационный ТА12(IT11)=0,11 мм, Цепь №19 $\sum TK21=0,25$ (запас точности 28%)
K22=1,5h12 _(-0,1) мм	Непосредственно черновым подрезанием торца A2=K22 _{ср} =1,15(± 0,05)мм	K22=1,5h12 _(-0,1) мм внутриоперационный Размер
K25=16hH12 _(+0,18) мм	Непосредственно черновым подрезанием торца	K25=16hH12 _(+0,18) мм - межоперационный

	$A4=K25cp=16,09(\pm 0,09)\text{мм}$	размер
--	-------------------------------------	--------

В ходе решения цепей были уточнены некоторые размеры и их допуски, в качестве доработки были изменены ступени обработки и переопределены операции для того, чтобы повысить технологичность рассматриваемой детали.

В итоге получился оптимальный план обработки за счёт минимального операционного припуска, минимального количества обрабатываемых поверхностей, переходов и проходов в каждой операции, обеспечения заданными конструктором размеров, которые совпали с межоперационными и внутриоперационными и получения операционных размеров, входящих в пределы средней экономической точности.

2.7 Составление эскиза совмещённых переходов, выявление и построение диаметральных размерных цепей.

ЭСП диаметральных размеров составляется по ходу технологического процесса, то есть в порядке выполнения операций и переходов. Вначале на поле чертежа наносим эскиз заготовки с условными обозначениями начальных диаметральных размеров литой заготовки $\varnothing H1$, $\varnothing H2$ и $\varnothing H3$, $\varnothing H4$, $\varnothing H5$, $\varnothing H6$. Затем в соответствии с планом обработки, начиная с первого перехода установка 1 операции 010 «Токарная черновая», наносим на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 1$ и снимаемый при этом припуск $Z1/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 1. Эта диаметральная цепь включает в себя начальный размер литой заготовки $\varnothing H1$, операционный размер $\varnothing 1$ и припуск $Z1$, который является замыкающим звеном.

Также на этом установе наносим операционный размер $\varnothing 2$ который равен конструкторскому размеру $K15$, который получается за счёт напуска.

Далее установ 2 операции 010 «Токарная черновая», наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 3$ и снимаемый при этом припуск $Z3/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 2. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 3$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H2$ и припуск $Z3$, который является замыкающим звеном. Далее наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 4$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H3$ и припуск $Z4/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 3. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 4$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H3$ и припуск $Z4$, который является замыкающим звеном. Далее наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 6$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H4$ и припуск $Z5/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 4. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 6$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H4$ и припуск $Z6$, который является замыкающим звеном. Далее наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 7=K6$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H5$ и припуск $Z7/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 5. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 7$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H5$ и припуск $Z7$, который является замыкающим звеном. Далее наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 9=K8$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H6$ и припуск $Z9/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 6. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 9$, начальный размер литой заготовки $\varnothing H6$ и припуск $Z9$, который является замыкающим звеном. Далее наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 10=K4$ и припуск $Z10/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 7. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 10$, операционный размер $\varnothing 6$ и припуск $Z10$, который является замыкающим звеном.

Также на этом установе наношу операционные размеры $\varnothing 5$ и $\varnothing 8$ которые равны конструкторским размерам K2 и K5 соответственно, которые получаются за счёт напуска.

Далее операция 020 «Токарно-фрезерная чистовая с ЧПУ», наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 10=K4$ и припуск $Z10/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 7. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 10$, операционный размер $\varnothing 6$ и припуск $Z10$, который является замыкающим звеном. Наношу на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 11$ и снимаемый при этом припуск $Z11/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 8. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 11=K3$, операционный размер $\varnothing 4$ и припуск $Z7$, который является замыкающим звеном. Наносим на поле эскиза размер отверстия $\varnothing 13=K1$ и снимаемый при этом припуск $Z12/2$. Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью 9. Эта диаметрально цепь включает в себя операционный размер $\varnothing 3$, операционный размер $\varnothing 12$ и припуск $Z12$, который является замыкающим звеном.

Также на этом установе наношу операционный размер $\varnothing 13$ который равен конструкторскому размеру K26, который получается за счёт напуска.

Далее установ 2 операции 020 «Токарно-фрезерная чистовая с ЧПУ», на этом установе наношу операционные размеры $\varnothing 14$, $\varnothing 15$, $\varnothing 16$, $\varnothing 17$, $\varnothing 18$ которые равны конструкторским размерам K29, K28, K22, K24, K23.

При этом все диаметрально цепи получаются трехзвенными. Решение полученных размерный цепей осуществляется в порядке 1, 5, 6, 7, 8, 9, 2, 3, 4, то есть начиная расчёт с цепей где известны заданные конструктором диаметрально размеры $\varnothing K24$, $\varnothing K6$, $\varnothing K8$, $\varnothing K4$, $\varnothing K3$, $\varnothing K1$.

Эскиз совмещённых переходов

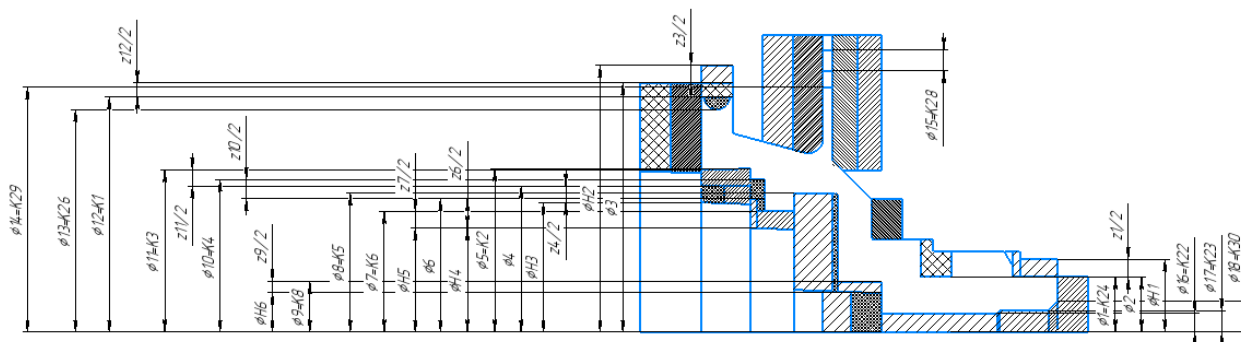
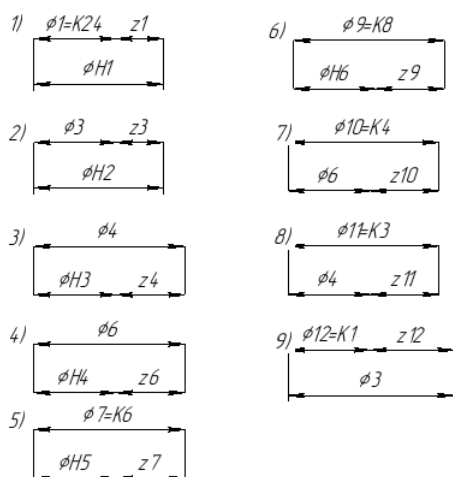


Рис. 16 - Эскиз совмещённых переходов диаметральных размеров

Диаметральные размерные цепи

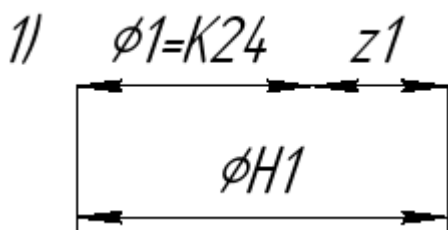


№	№ цепи	закрывающее звено	определяемые размеры
1	1	z1	φH1, TφH1
2	5	z7	φH5, TφH5
3	6	z9	φH6, TφH6
4	7	z10	φ6, Tφ6
5	8	z11	φ4, Tφ4
6	9	z12	φ3, Tφ3
7	2	z13	φH2, TφH2
8	3	z14	φH3, TφH3
9	4	z6	φH4, TφH4

Рис. 17 - Диаметральные размерные цепи и порядок их решения

2.8 Решение диаметральных размерных цепей

1. Размерная цепь №1:



Известно: $\phi 1 = K 24 = 11 h 12$

Найти: $\phi H 1, T_{\phi H 1}$

Закрывающее звено: z1

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{Ai} - \sum Ai$$

Z_{1min} определяем расчетно-аналитическим методом

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.

$$z_{imin} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \text{ где}$$

Rz_{i-1} – высота неровностей профиля, полученная на предшествующем переходе обработки данной поверхности. Данная величина зависит от метода, режимов и условий выполнения предшествующей обработки.

T_{i-1} – состояние и глубина поверхностного слоя, полученные на предшествующем технологическом переходе. Данный слой отличается от основного металла по механическим свойствам, наличию остаточных напряжений и структуре

ρ_{i-1} – суммарное значение пространственных отклонений в расположении обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки, оставшихся после выполнения предшествующего перехода. В нашем случае данное значение равно нулю.

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе. Данная погрешность состоит из суммы погрешности базирования, погрешности закрепления и погрешности приспособления. В нашем случае погрешность базирования отсутствует, так как технологическая и измерительная базы совпадают, а погрешность приспособления трудно выявить как самостоятельное значение, поэтому его учитывают, как входящее в погрешность закрепления. Соответственно будем считать, что погрешность установки равна погрешности закрепления.

Найдем минимальный припуск:

$$Z_{1min} = \frac{40}{1000} + \frac{150}{1000} + \sqrt{1^2} = 1,19 \text{ мм}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{1max} = z_{1min} + \sqrt{T \phi H 1^2 + T \phi 1^2}$$

Допуск на размер $\varnothing H1$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{\varnothing H1} = 0,9 \text{ мм}$$

$$z_{1\max} = 1,19 + \sqrt{0,9^2 + 0,11^2} = 2,01 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{1\text{cp}} = \frac{z_{1\max} + z_{1\min}}{2} = \frac{2,01 + 1,19}{2} = 1,6 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

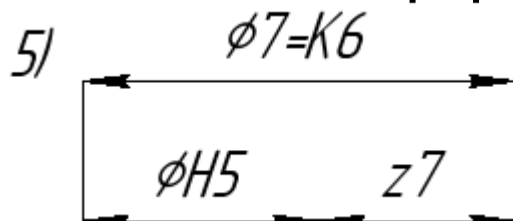
$$z_{1\text{cp}} = -\varnothing 1_{\text{cp}} + \varnothing H 1_{\text{cp}}$$

$$\varnothing H 1_{\text{cp}} = \varnothing 1_{\text{cp}} + z_{1\text{cp}} = 10,89 + 1,6 = 12,49 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\varnothing H 1 = 12,5 (\pm 0,45) \text{ мм}$$

2. Размерная цепь №5:



Известно: $\varnothing 7 = K 6 = 24,5 H 12,5$

Найти: $\varnothing H 5$, $T_{\varnothing H 5}$

Замыкающее звено: $z 7$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma \text{cp}} = \sum \vec{A}_i - \sum \vec{A}_i$$

$Z 2_{\min}$ определяем расчетно-аналитическим методом

Расчетно-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.

$$z_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \text{ где}$$

Найдем минимальный припуск:

$$Z_{7min} = \frac{40}{1000} + \frac{150}{1000} + \sqrt{1^2} = 1,19 \text{ мм}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{7max} = z_{7min} + \sqrt{T_{\phi H 5^2} + T_{\phi 7^2}}$$

Допуск на размер $\phi H 5$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{\phi H 5} = 1 \text{ мм}$$

$$z_{7max} = 1,19 + \sqrt{1^2 + 0,21^2} = 2,21 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{7cp} = \frac{z_{7max} + z_{7min}}{2} = \frac{2,21 + 1,19}{2} = 1,7 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

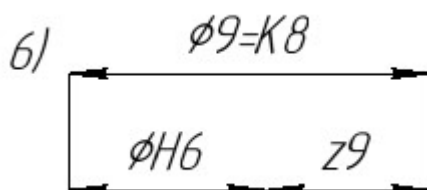
$$z_{7cp} = \phi 7_{cp} - \phi H 5_{cp}$$

$$\phi H 5_{cp} = \phi 7_{cp} - z_{7cp} = 24,71 - 1,7 = 23,01 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H 5 = 23,1 (\pm 0,5) \text{ мм}$$

3. Размерная цепь №6:



Известно: $\phi 9 = K 8 = 10 H 12$

Найти: $\phi H 6$, $T_{\phi H 6}$

Замыкающее звено: $z 9$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Z_{9min} определяем расчетно-аналитическим методом

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

$$z_{imin} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \text{ где}$$

Найдем минимальный припуск:

$$Z_{9min} = \frac{40}{1000} + \frac{150}{1000} + \sqrt{1^2} = 1,19 \text{ мм}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{9max} = z_{9min} + \sqrt{T_{\phi H 6}^2 + T_{\phi 9}^2}$$

Допуск на размер $\phi H 5$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{\phi H 6} = 0,8 \text{ мм}$$

$$z_{9max} = 1,19 + \sqrt{0,8^2 + 0,15^2} = 2 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{9cp} = \frac{z_{9max} + z_{9min}}{2} = \frac{2 + 1,19}{2} = 1,595 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

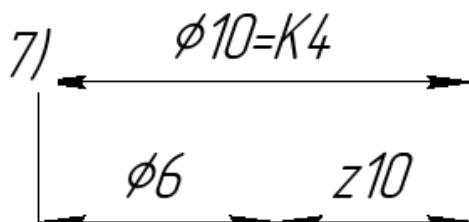
$$z_{9cp} = \phi 9_{cp} - \phi H 6_{cp}$$

$$\phi H 6_{cp} = \phi 9_{cp} - z_{9cp} = 10,15 - 1,595 = 8,555 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H 6 = 8,6 (\pm 0,4) \text{ мм}$$

4.



Размерная цепь №7:

Известно: $\phi 10 = K4 = 31H11 (+0,16; 0) \text{ мм};$

Найти: $\varnothing 6$, $T_{\varnothing 6}$

Замыкающее звено: z_{10}

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{10 max} = z_{10 min} + \sqrt{T_{\varnothing 10}^2 + T_{\varnothing 6}^2}$$

Допуск на размер $\varnothing 6$ примем по средней экономической точности IT12.

$$T_{\varnothing 6} = 0,25 \text{ мм}$$

$Z_{10 min}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{10 min} = 1 - 0,46 = 0,54 \text{ мм}$

$$z_{10 max} = 0,54 + \sqrt{0,25^2 + 0,16^2} = 0,837 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{10 cp} = \frac{z_{10 max} + z_{10 min}}{2} = \frac{0,837 + 0,54}{2} = 0,6885 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

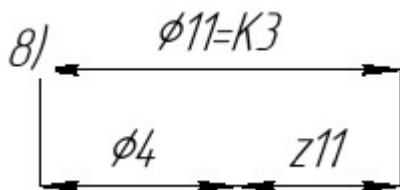
$$z_{10 cp} = \varnothing 10_{cp} - \varnothing 6_{cp}$$

$$\varnothing 6_{cp} = \varnothing 10_{cp} - z_{10 cp} = 31,16 - 0,6885 = 30,4715 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\varnothing 6 = 30,5 (\pm 0,125) \text{ мм}$$

5.



Размерная цепь №8:

Известно: $\varnothing 11 = K3 = 33js9 \left(\begin{smallmatrix} 0,031 \\ -0,031 \end{smallmatrix} \right) \text{ мм};$

Найти: $\varnothing 4$, $T_{\varnothing 4}$

Замыкающее звено: z_{11}

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{11 max} = z_{11 min} + \sqrt{T \phi 4^2 + T \phi 11^2}$$

Допуск на размер Ø2 примем по средней экономической точности IT12.

$$T_{\phi 4} = 0,25 \text{ мм}$$

Z10min примем по ОСТ 1.41512-86, Z11min=1-0,19=0,81мм

$$z_{11 max} = 0,81 + \sqrt{0,25^2 + 0,062^2} = 1,068 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{11 cp} = \frac{z_{11 max} + z_{11 min}}{2} = \frac{1,068 + 0,81}{2} = 0,939 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

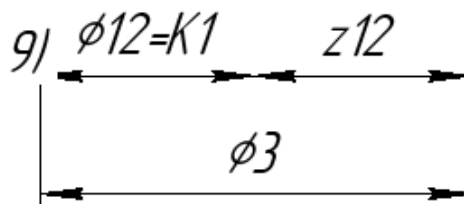
$$z_{11 cp} = \phi 11_{cp} - \phi 4_{cp}$$

$$\phi 4_{cp} = \phi 11_{cp} - z_{11 cp} = 33 - 0,939 = 32,061 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi 4 = 32,1 (\pm 0,125) \text{ мм}$$

6.



Размерная цепь №9:

Известно: $\phi 12 = K 1 = 48 H 11 \text{ ж}$

Найти: Ø3, TØ3

Замыкающее звено: z12

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{12 max} = z_{12 min} + \sqrt{T \phi 12^2 + T \phi 3^2}$$

Допуск на размер Ø3 примем по средней экономической точности IT12.

$$T_{\phi 3}=0,25\text{мм}$$

$$Z_{12\min} \text{ примем по ОСТ 1.41512-86, } Z_{12\min}=2,2-0,3=1,9\text{мм}$$

$$z_{12\max}=1,9+\sqrt{0,16^2+0,25^2}=2,197\text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{12\text{cp}}=\frac{z_{12\max}+z_{12\min}}{2}=\frac{2,197+1,9}{2}=2,0485\text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

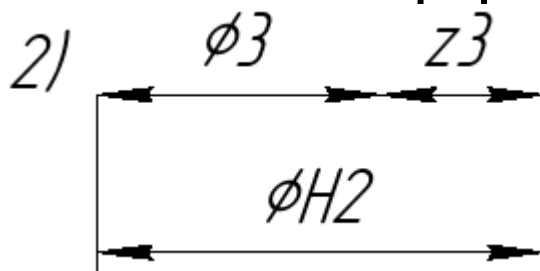
$$z_{12\text{cp}}=\phi 3_{\text{cp}}-\phi 12_{\text{cp}}$$

$$\phi 3_{\text{cp}}=\phi 12_{\text{cp}}+z_{12\text{cp}}=48,16+2,0485=50,2085\text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi 3=50,4(\pm 0,125)\text{ мм}$$

7. Размерная цепь №2:



$$\text{Известно: } \phi 3=50,4(\pm 0,125)\text{ мм}$$

$$\text{Найти: } \phi H2, T_{\phi H2}$$

$$\text{Замыкающее звено: } z3$$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma\text{cp}}=\sum \vec{Ai}-\sum \vec{Ai}$$

$Z3_{\min}$ определяем расчетно-аналитическим методом

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.

$$z_{imin}=Rz_{i-1}+T_{i-1}+\sqrt{\rho_{i-1}^2+\epsilon_i^2}, \text{ где}$$

Найдем минимальный припуск:

$$Z_{3min} = \frac{40}{1000} + \frac{150}{1000} + \sqrt{1^2} = 1,19 \text{ мм}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{3max} = z_{3min} + \sqrt{T_{\phi H 2^2} + T_{\phi 3^2}}$$

Допуск на размер $\phi H 2$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{\phi H 2} = 1,2 \text{ мм}$$

$$z_{3max} = 1,19 + \sqrt{1,2^2 + 0,25^2} = 2,416 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{3cp} = \frac{z_{3max} + z_{3min}}{2} = \frac{2,416 + 1,19}{2} = 1,803 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

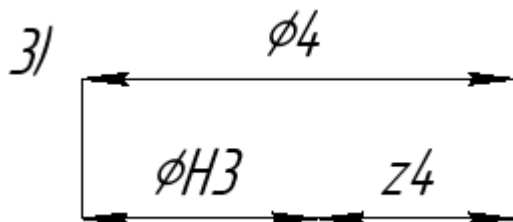
$$z_{3cp} = \phi H 2_{cp} - \phi 3_{cp}$$

$$\phi H 2_{cp} = \phi 3_{cp} + z_{3cp} = 50,4 + 1,803 = 52,203 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H 2 = 52,3 (\pm 0,6) \text{ мм}$$

8. Размерная цепь №3:



Известно: $\phi 4 = 32,1 (\pm 0,125) \text{ мм}$

Найти: $\phi H 3$, $T_{\phi H 3}$

Замыкающее звено: $z 4$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A_i} - \sum \vec{A_i}$$

$Z 4_{min}$ определяем расчетно-аналитическим методом

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.

$$z_{imin} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \text{ где}$$

Найдем минимальный припуск:

$$Z_{4min} = \frac{40}{1000} + \frac{150}{1000} + \sqrt{1^2} = 1,19 \text{ мм}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{4max} = z_{4min} + \sqrt{T_{\phi H 3}^2 + T_{\phi 4}^2}$$

Допуск на размер $\phi H2$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{\phi H 3} = 1,1 \text{ мм}$$

$$z_{4max} = 1,19 + \sqrt{1,1^2 + 0,25^2} = 2,318 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{4cp} = \frac{z_{4max} + z_{4min}}{2} = \frac{2,318 + 1,19}{2} = 1,754 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

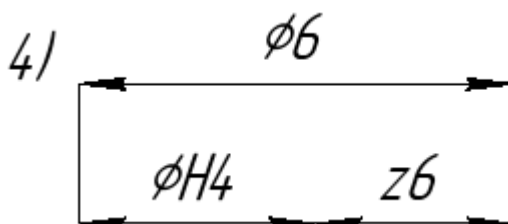
$$z_{4cp} = \phi 4_{cp} - \phi H 3_{cp}$$

$$\phi H 3_{cp} = \phi 4_{cp} - z_{4cp} = 32,1 - 1,754 = 30,346 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H 3 = 30,4 (\pm 0,55) \text{ мм}$$

9. Размерная цепь №4:



Известно: $\phi 6 = 30,5 (\pm 0,125) \text{ мм}$

Найти: $\phi H4$, $T_{\phi H4}$

Замыкающее звено: $z6$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{Ai} - \sum \vec{Ai}$$

Z_{6min} определяем расчетно-аналитическим методом

Расчетно-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.

$$z_{imin} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \text{ где}$$

Найдем минимальный припуск:

$$Z_{6min} = \frac{40}{1000} + \frac{150}{1000} + \sqrt{1^2} = 1,19 \text{ мм}$$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{6max} = z_{6min} + \sqrt{T \phi H 4^2 + T \phi 6^2}$$

Допуск на размер $\phi H2$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T_{\phi H3} = 1,1 \text{ мм}$$

$$z_{6max} = 1,19 + \sqrt{1,1^2 + 0,25^2} = 2,318 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{6cp} = \frac{z_{6max} + z_{6min}}{2} = \frac{2,318 + 1,19}{2} = 1,754 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

$$z_{6cp} = \phi 6_{cp} - \phi H 4_{cp}$$

$$\phi H 4_{cp} = \phi 6_{cp} - z_{6cp} = 30,5 - 1,754 = 28,746 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H 4 = 28,8 (\pm 0,55) \text{ мм}$$

Таблица 15 Диаметральные операционные размеры и припуски

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Z _{min}	Z _{max}	Z _{cp}	Метод расчета припуска

$\varnothing 18 = K 23$	$\varnothing 18 = K 23 = 4,2H12$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 17 = K24$	$\varnothing 17 = K24 = 11h12$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 16 = K22$	$\varnothing 16 = K22 = 4js9 \left(\begin{smallmatrix} 0,015 \\ -0,015 \end{smallmatrix} \right) \text{мм}$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 15 = K28$	$\varnothing 15 = K28 = 3,2H12$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 14 = K 29$	$\varnothing 14 = K 29 = 48h12$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 13 = K26$	$\varnothing 13 = K26 = 54H11$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 12 = K 1$	$\varnothing 12 = K 1 = 48H 11$	1,9	2,197	2,0485	вероятностный
$\varnothing 11 = K 3$	$\varnothing 11 = K3 = 33js9 \left(\begin{smallmatrix} 0,031 \\ -0,031 \end{smallmatrix} \right) \text{мм}$	0,81	1,068	0,939	вероятностный
$\varnothing 10 = K 4$	$\varnothing 10 = K4 = 31H 11 \left(\begin{smallmatrix} +0,16 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) \text{мм}$	0,54	0,837	0,6885	вероятностный
$\varnothing 9 = K 8$	$\varnothing 9 = K 8 = 10 H 12$	1,19	2	1,595	вероятностный
$\varnothing 8 = K5$	$\varnothing 8 = K5 = 28,2H12$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 7 = K6$	$\varnothing 7 = K 6 = 24,5 H 12$	1,19	2,21	1,7	вероятностный
$\varnothing 6$	$\varnothing 6 = 30,5 \left(\pm 0,125 \right) \text{мм}$	1,19	2,318	1,754	вероятностный
$\varnothing 5 = K2$	$\varnothing 5 = K2 = 33,2H12$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 4$	$\varnothing 4 = 32,1 \left(\pm 0,125 \right) \text{мм}$	1,19	2,318	1,754	вероятностный
$\varnothing 3$	$\varnothing 3 = 50,4 \left(\pm 0,125 \right) \text{мм}$	1,19	2,416	1,803	вероятностный
$\varnothing 2 = K15$	$\varnothing 2 = K15 = 2js12 \left(\begin{smallmatrix} 0,5 \\ -0,5 \end{smallmatrix} \right) \text{мм}$	Обеспечивается за счет напуска			
$\varnothing 1 = K24$	$\varnothing 1 = K 24 = 11 h 12$	1,19	2,01	1,6	вероятностный
$\varnothing H 1$	$\varnothing H 1 = 12,5 \left(\pm 0,45 \right) \text{мм}$	-	-	-	-
$\varnothing H 2$	$\varnothing H 2 = 52,3 \left(\pm 0,6 \right) \text{мм}$	-	-	-	-
$\varnothing H 3$	$\varnothing H 3 = 30,4 \left(\pm 0,55 \right) \text{мм}$	-	-	-	-
$\varnothing H 4$	$\varnothing H 4 = 28,8 \left(\pm 0,55 \right) \text{мм}$	-	-	-	-
$\varnothing H 5$	$\varnothing H 5 = 23,1 \left(\pm 0,5 \right) \text{мм}$	-	-	-	-
$\varnothing H 6$	$\varnothing H 6 = 8,6 \left(\pm 0,4 \right) \text{мм}$	-	-	-	-

2.9 Сравнительный анализ результатов расчета осевых и диаметральных размеров исходной заготовки

На данном этапе я сравниваю полученные результаты расчета осевых и диаметральных размеров заготовки с результатами расчетов, полученных при предварительном проектировании исходной заготовки. Я сравниваю средние показатели.

Таблица 15 Сравнение результатов предварительного и уточнённого расчетов

№ п/п	Предварительный расчет (по ГОСТ Р 53464-2009)	Уточненный расчет	Результаты сравнения
Н1	35,6(±0,5)мм	36,6(±0,55) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 3%)
Н2	2,4(±0,125)мм	2,3(±0,2) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 5%)
Н3	17(±0,25)мм	16,8(±0,4) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 2%)
Н4	21,1(±0,5)мм	20,6(±0,4) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 3%)
Н5	18,2(±0,4)мм	17,3(±0,215) мм	Уменьшение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную цепь(разница составляет менее 6%)
Н6	5,9(±0,2)мм	5,3(±0,15) мм	Уменьшение припуска произошло из за того что,

			данный размер входит в многозвенную цепь(разница составляет менее 12%)
H7	7,4(±0,4)мм	6,8(± 0.18) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 9%)
H8	15,2(±0,4)мм	14,4(± 0.215) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 5%)
H9	12,5(±0,4)мм	12(±0.215) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 5%)
H10	12,2(±0,4)мм	11,8(± 0,6) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 4%)
∅ H 1	12,3(±0,6)мм	12,5(± 0,45) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 1%)
∅ H 2	49,5(±0,55)мм	52,3(± 0,6) мм	Увеличение припуска произошло из-за того что, размеры, которые входят в цепь находились вероятностным методом (разница составляет менее 6%)
∅ H 3	32(±0,55)мм	30,4(± 0,55) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 6%)
∅ H 4	29,7(±0,55)мм	28,8(± 0,55) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 4%)
∅ H 5	22,5(±0,45)мм	23,1(± 0,5) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 3%)
∅ H 6	8,9(±0,35)мм	8,6(± 0,4) мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 4%)

Размеры Н2, Н4, Н5 зависит от припусков на черновой и чистовой обработках и в данном технологическом процессе участвует в многозвенной цепи, уменьшение припуска возможно достичь путем изменения плана обработки.

Увеличение расчетных припусков у размеров $\varnothing H2$ возможно связано с тем, что при расчете цепей в которые входят эти размеры, минимальный припуск определялся расчетно-аналитическим методом, все данные которые входят в расчет статистические и могут являться устаревшими в связи с усовершенствованием технологий литья и механообработки.

В целом расхождения по каждому из размеров не превышают 5%, следовательно, нахождение начальных размеров заготовки можно проводить с помощью ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов», и не проводить уточненный расчет.

Однако, уточненный расчет чаще всего минимизирует припуски, тем самым уменьшает расход материала.

2.10 Расчет режимов резания

Найдем среднюю глубину резания для каждой операции и для каждого перехода и запишем значения в таблицу.

Оп 010 Токарно-фрезерная ЧПУ Черновая

Установ 1.

Подрезка торца: $t_{cp} = z1_{cp}/2 = 1,7425/2 = 0,87125$ мм;

Подрезка торца: $t_{cp} = z2_{cp}/2 = 0,859/2 = 0,4295$ мм;

Подрезка торца: $t_{cp} = z3_{cp}/2 = 1,03/2 = 0,515$ мм;

Подрезка торца: $t_{cp} = z4_{cp}/2 = 1,03/2 = 0,515$ мм;

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{5cp}/2 = 0,6055/2 = 0,30275$ мм;

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{1cp} + 1 * tg\alpha)/2 = (1,6 + 1 * tg2)/2 = 0,81746$ мм

Точение канавки: $t_{cp} = z_{cp}/2 = 3/2 = 1,5$ мм;

Установ 2.

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{6cp}/2 = 0,398/2 = 0,199$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{7cp}/2 = 0,4896/2 = 0,2448$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{8cp}/2 = 0,465/2 = 0,2325$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{9cp}/2 = 0,507/2 = 0,2535$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{10cp}/2 = 0,469/2 = 0,2345$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{11cp}/2 = 1,35/2 = 0,675$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{3cp} + 1 * tg\alpha)/2 = (1,803 + 1 * tg2)/2 = 0,919$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{4cp} + 1 * tg\alpha)/2 = (1,754 + 1 * tg2)/2 = 0,894$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{6cp} + 1 * tg\alpha)/2 = (1,754 + 1 * tg2)/2 = 0,894$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{7cp} + 1 * tg\alpha)/2 = (1,7 + 1 * tg2)/2 = 0,8675$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{9cp} + 1 * tg\alpha)/2 = (1,595 + 1 * tg2)/2 = 0,815$ мм

Оп 020 Токарно-Фрезерная Чистовая

Установ 1.

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{12_{cp}}/2 = 1,35/2 = 0,675$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{13_{cp}}/2 = 0,507/2 = 0,2535$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{14_{cp}}/2 = 0,469/2 = 0,2345$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{15_{cp}}/2 = 0,4896/2 = 0,2448$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{16_{cp}}/2 = 0,5/2 = 0,25$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{17_{cp}}/2 = 0,465/2 = 0,2325$ мм

Обтачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = z_{12}/2 = 2,0485/2 = 1,024$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{10_{cp}} + 1 \cdot \text{tg} \alpha)/2 = (1,595 + 1 \cdot \text{tg} 2^\circ)/2 = 0,815$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = (z_{11_{cp}} + 1 \cdot \text{tg} \alpha)/2 = (1,595 + 1 \cdot \text{tg} 2^\circ)/2 = 0,815$ мм

Точение канавки: $t_{cp} = z_{cp}/2 = 6,1/2 = 3,05$ мм;

Установ 2.

Сверление отверстий: $t_{cp} = 1$ мм

Фрезерование шестигранника

Сверление сквозного отверстия: $t_{cp} = 15,5$ мм

Рассачивание цилиндрической поверхности: $t_{cp} = z_{cp}/2 = 2/2 = 0,1$ мм

Подрезка торца: $t_{cp} = z_{18_{cp}}/2 = 0,605/2 = 0,3025$ мм

Для расчета режимов резания я воспользовался сайтом Toolguide sandvik coromant. Этот сайт позволяет достаточно точно рассчитать режимы резания и подобрать современный инструмент.

Таблица 16 Значения режимов резания

Наименование операции		Наименование перехода	Значение средний глубины резания t_{cp}	Скорость резания, м/мин	Подача на оборот, мм
Оп 010 Токарно-фрезерная черновая	Уст 1	Подрезка торца	0,87125	279	0,707
		Подрезка торца	0,4295	303	0,566
		Подрезка торца	0,515	303	0,566
		Подрезка торца	0,515	303	0,566
		Подрезка торца	0,30275	317	0,495
		Растачивание цилиндра	0,81746	276	0,282
		Точение канавки	1,5	213	0,324
	Уст 2	Подрезка торца	0,199	317	0,495
		Подрезка торца	0,2448	317	0,495
		Подрезка торца	0,2325	317	0,495
		Подрезка торца	0,2325	317	0,495
		Подрезка торца	0,2345	317	0,495
		Подрезка торца	0,675	279	0,707
		Растачивание цилиндра	0,919	279	0,707
		Растачивание цилиндра	0,894	279	0,707

		Растачивание цилиндра	0,894	279	0,707
		Растачивание цилиндра	0,8675	279	0,707
		Растачивание цилиндра	0,815	279	0,707
Оп 020 Токарно-фрезерная чистовая	Уст 1	Подрезка торца	0,675	279	0,707
		Подрезка торца	0,2535	317	0,495
		Подрезка торца	0,2345	317	0,495
		Подрезка торца	0,2448	317	0,495
		Подрезка торца	0,25	317	0,495
		Подрезка торца	0,2325	317	0,495
		Обтачивание цилиндра	1,024	352	0,25
		Растачивание цилиндра	0,815	352	0,25
		Растачивание цилиндра	0,815	352	0,25
		Точение канавки	3,05	415	0,75
	Уст 2	Сверление отверстий	1	1000	0,1
		Фрезерование шестигранника	-		
		Сверление	15,5	1000	0,1

		отверстия			
		Растачивание поверхности	0,1	352	0,25
		Подрезка торца	0,3025	317	0,495

2.11 Обоснование выбора оборудования, технологической оснастки и средств измерения

Выбор станочного оборудования

На Оп.010 «Токарно черновая» использую противопиндель. На Оп.020 «Токарно-фрезерная чистовая с ЧПУ» использую токарный станок с приводным инструментом, на котором можно как выполнять обработку токарным инструментом, так и фрезеровать.

Выбор технологической оснастки

На Оп.010 «Токарная черновая», Оп.020 «Токарно-фрезерная чистовая с ЧПУ» использую трёхкулачковый самоцентрирующийся патрон с пневмоприводом для автоматизации крепления заготовок в станке.

Выбор режущего и вспомогательного инструмента

На Оп. 010 Токарно-фрезерная Черновая будем использовать следующие режущие инструменты:

Установ 1

- для черновой подрезки торца – резец подрезной наружный с пластиной квадратной формы с углом 90° радиусом скругления 1,6
- для точения канавки использую прорезной резец канавочный для наружных канавок шириной 2 мм, квадратной формы и углом 90°

Установ 2

- для черновой подрезки торца – резец подрезной наружный с пластиной квадратной формы с углом 90° радиусом скругления 1,6
- для чернового обтачивания цилиндрической поверхности – резец наружный черновой с ромбической пластиной углом 90° радиусом скругления 1,6
- для чернового растачивания цилиндрической поверхности – резец расточной черновой с ромбической пластиной углом 90° радиусом скругления 1,6.

На Оп. 020 Токарно-фрезерная чистовая с ЧПУ будем использовать следующие режущие инструменты:

Установ 1

- для чистового обтачивания цилиндрической поверхности – резец наружный проходной чистовой с ромбической пластиной углом 35° радиусом скругления 0,4
- для чистовой подрезки торца – резец наружный чистовой с ромбической пластиной углом 90° радиусом скругления 0,4
- для чистового растачивания цилиндрической поверхности – резец расточной чистовой с ромбической пластиной углом 35° радиусом скругления 0,8.
- для нарезания внутренней резьбы использую резец резьбовой с пластинами для нарезания резьбы с углом 60° и радиусом при угле 0,2.
- для точения канавки использую прорезной резец канавочный для наружных канавок шириной 1 мм, ромбической формы и углом 35°

Установ 2

- для чистовой подрезки торца – резец наружный чистовой с ромбической пластиной углом 90° радиусом скругления 0,8.
- для сверления отверстий использую сверло $\varnothing 4$
- для чистового растачивания цилиндрической поверхности – резец расточной чистовой с ромбической пластиной углом 35° радиусом скругления 0,8.
- для фрезерования шестигранника использую торцевую фрезу
- для нарезания резьбы использую метчик $\varnothing 4$

Выбор контрольно-измерительных средств

Для контроля параметров детали будут использованы следующие средства измерений:

- Прибор прецизионный для измерения малых отверстий;
- Система измерительная для контроля тел вращения;
- USB Профилограф-профилометр;
- Прибор для контроля резьбы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель выпускной квалификационной работы спроектировать процесс получения готового изделия имея в качестве исходного задания только чертеж детали и характер производства. Для этого я постарался использовать все полученные мной знания в процессе обучения такие как: конструирование оснастки для литья, работа с ГОСТами и ЕСКД, анализ материалов и их свойств, а также большое количество расчетов. Для разработки отливки и проектирования пресс-формы, пришлось уделить достаточное количество времени работы с ГОСТами с разбором каждого этапа расписанных в нем. При проектировании литейной технологии был произведен расчет основных геометрических параметров ЛПС, времени заливки, кристаллизации и снятия теплоты перегрева. Но поскольку данная работа является сугубо учебной, многие тонкости были упрощены, а именно: отсутствие скруглений в отверстиях; проблемы в проектировании пресс-формы в месте, где располагается питатель отливки и тд. Поскольку главной задачей является усвоение методов и способов проектирования технологии. Для проверки правильности спроектированной летниково-питающей системы я смоделировал процесс литья при помощи программы NovaCast and Flow. По результатам моделирования можно сделать вывод, что ЛПС было спроектировано правильно. Что касается механообработки, был составлен план обработки, проведен размерный анализ, подобрано технологическое оборудование и оснастка.

CONCLUSION

The purpose of the final qualification work is to design the process of obtaining the finished product having as the initial task only the drawing of the part and the nature of production. To do this, I tried to use all the knowledge I gained in the training process such as construction of tooling for casting, work with GOSTs and ESKD, analysis of materials and their properties, and a large number of calculations. For the development of casting and mold design, it was necessary to spend a sufficient amount of time working with GOST with the analysis of each stage painted in it. When designing the foundry technology, the basic geometric parameters of the FSC, the time of pouring, crystallization and removal of heat overheating were calculated. But since this work is purely educational, many subtleties have been simplified, namely: the absence of roundings in the holes; problems in the design of the mold in the place where the feeder is located, etc. Since the main task is to learn the methods and techniques of technology design. In order to verify the correctness of the designed summer supply system, I modelled the casting process using NovaCast and Flow. Based on the model results, it can be concluded that the FSC was correctly designed. As for machining, a machining plan was drawn up, a dimensional analysis was carried out, process equipment and tooling were selected.

Список использованных источников и литературы

1. ОСТ 1 90090-79 Отливки фасонные из высоколегированной стали со специальными свойствами.
2. ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий»
3. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия
4. ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку»
5. Выбор типа и конструкции элементов литниковой системы [Электронный ресурс]: <https://lektsii.org/9-42454.html>
6. Литье по выплавляемым моделям [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/1864613/page:17/>
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК [Электронный ресурс]: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1276
8. Индукционные тигельные плавильные установки [Электронный ресурс] https://zio-ural.ru/products/plavilnye_tigelnye_pechi/0-100kg/
9. Обоснование оптимальной технологии плавки, шихтовки [Электронный ресурс] https://studopedia.su/19_53140_rafinirovaniya-raskisleniya-i-modifitsirovaniya-stali.html
10. Расчет прибыли [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/10039946/page:11/>
11. ГОСТ 30893.1.2002 «Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками» // URL: <https://meganorm.ru/>.
12. ГОСТ 2.316-2008 «Единая система конструкторской документации. Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах. Общие положения» // URL: <https://meganorm.ru/>.

13. ОСТ 1.41512-86 «Детали механообрабатываемые. Размеры технологические нормальные» // URL: <https://meganorm.ru/>.
14. ГОСТ 2.109-73 «ЕСКД Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам» // URL: <https://meganorm.ru/>.
15. ГОСТ 25346-2013 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки» // URL: <https://meganorm.ru/>.
16. Классификатор ЕСКД // URL: <https://classinform.ru/okeskd/kod.html/>
17. ГОСТ 977-88 «Отливки стальные. Общие технические условия» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/11420/>
18. ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку»
19. ГОСТ 19257-73 «Отверстия под нарезание метрической резьбы. Диаметры» // URL: <https://meganorm.ru/>.
20. ГОСТ 19258-73 «Стержни под нарезание метрической резьбы. Диаметры» // URL: <https://meganorm.ru/>.
21. Технология машиностроения. Расчёт припусков и межпереходных размеров: Учеб. пособие / Авраменко В.Е., Терсков Ю.Ю. – Красноярск: ПИ СФУ, 2007
22. https://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/sto/10X18H9L
23. Каталог режущих инструментов // URL: <https://www.mitsubishicarbide.com/EU/ru/product/catalog/catalog.html>