

**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: Конструкторско-технологическое обеспечение
литейного производства

К защите допустить

Зав. каф. Р.М. Янбаев

«___» _____ 2024 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему «Проектирование технологии изготовления детали "Крышка " из
стали 20ГСЛ с разработкой процессов литья и обработки на станках с ЧПУ»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ

Д.А. Федотова, группа 1409

(инициалы, фамилия, № группы)

(личная подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ

к.т.н., доцент Е.Ф. Шайхутдинова

(ученая степень, звание, инициалы, фамилия)

(личная подпись)

Казань 2024

Design of technology for manufacturing the “Cover” part from 20GSL steel with the development of casting processes and processing on CNC machines

by
Fedotova Daria Andreevna

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	D.A. Fedotova
(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	5
ANNOTATION	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	9
1.1 Анализ рабочего чертежа детали	9
1.2 Материал детали	10
1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки ...	11
1.4 Проектирование заготовки	12
1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъема	15
1.6 Назначение литейных и формовочных уклонов	15
1.7 Выбор количества отливок в форме	16
1.8 Проектирование и расчет литниково-питающей системы	17
1.8.1 Выбор типа ЛСП.....	17
1.8.2 Расчет времени заливки	18
1.8.3 Расчет минимального сечения элемента литниковой системы.....	19
1.8.4 Расчет времени снятия теплоты перегрева, кристаллизации и охлаждения	21
1.9 Проектирование пресс-формы	22
1.9.1 Требования, предъявляемые к пресс-формам	23
1.9.2 Выбор составных частей пресс-формы	24
1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям.....	24
1.11 Разработка технологии изготовления моделей и оболочковых форм ..	27
1.11.1 Изготовления моделей и сборка блока	27
1.11.2 Изготовление оболочковой формы.....	29
1.12 Расчет шихты и выбор плавильного агрегата	31
1.12.1 Выбор плавильного агрегата.....	31

					КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Федотова Д.А.			«Проектирование технологии изготовления детали "Крышка " из стали 20ГСЛ с разработкой процессов литья и обработки на станках с ЧПУ»	Лит.	Лист	Листов
Проверил.		Шайхутдинова						
Реценз.								
Н. Контр.		Шайхутдинова				КНИТУ-КАИ гр. 1409		
Утверд.		Шайхутдинова						

1.12.2	Разработка технологии плавки сплава.....	34
1.12.3	Расчет шихты	36
1.13	Заключительные этапы процесса: формовка, заливка, выбивка, очистка и отделение отливок	38
1.14	Моделирование процессов литья	42
2.	СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	46
2.1	Разработка технологического процесса обработки детали «Крышка»... 46	
2.1.1	Определение количества ступеней обработки основных поверхностей	46
2.1.2	Формирование укрупненного плана технологического процесса	48
2.1.3	Установление последовательности обработки поверхностей, выбор измерительных и технологических баз	50
2.1.4	Составление эскиза совмещённых переходов и осевых размерных цепей	51
2.1.5	Расчет осевых размерных цепей	54
2.1.6	Размерный анализ технологического процесса	65
2.1.7	Составление эскиза совмещённых переходов, выявление и построение диаметральных размерных цепей	67
2.1.8	Решение диаметральных размерных цепей.....	68
2.1.9	Сравнительный анализ результатов расчета осевых и диаметральных размеров исходной заготовки	75
2.1.10	Расчет режимов резания	77
2.1.11	Выбор технологического оборудования и контрольно-измерительных средств	79
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
	CONCLUSION.....	85
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ ...	87

					КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Федотова Д.А.			«Проектирование технологии изготовления детали "Крышка " из стали 20ГСЛ с разработкой процессов литья и обработки на станках с ЧПУ»	Лит.	Лист	Листов
Проверил.		Шайхутдинова						
Реценз.						КНИТУ-КАИ гр. 1409		
Н. Контр.		Шайхутдинова						
Утверд.		Шайхутдинова						

АННОТАЦИЯ

Сведения об объеме работы: 89 страниц, чертежи – 7, иллюстраций - 29, использованных источников – 23.

Ключевые слова: отливка, пресс-форма, литье по выплавляемым моделям, литниково-питающая система, модели, формовочные смеси, индукционная печь, брак, технологический процесс, режущий инструмент,

Объект исследования - технология изготовления детали крышка и стали 20ГСЛ.

Цель работы - проектирование метода получения заготовки и разработка технологического процесса для получения готовой детали.

Метод исследования – проектирование заготовки, расчет литниково-питающей системы, проектирование пресс-формы, разработка технологического процесса литья по выплавляемым моделям, теория размерных цепей, методика расчета режимов резания и норм времени

Полученные результаты – модернизированный технологический процесс, сборочный чертеж пресс-формы, разработанная технология изготовления отливок.

Новизна заключается в разработке технологического процесса литья по выплавляемым моделям, разработке пресс-формы для литья разработанном единичном технологическом процессе изготовления детали.

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

ANNOTATION

Information about the volume of work: 89 pages, drawings - 7, illustrations - 29, sources used - 23.

Key words: casting, mold, lost wax casting, gating-feeding system, models, molding mixtures, induction furnace, defects, technological process, cutting tool,

The object of study is the manufacturing technology of the lid part and 20GSL steel.

The purpose of the work is to design a method for obtaining a workpiece and develop a technological process for obtaining a finished part.

Research method - workpiece design, calculation of the gating-feeding system, mold design, development of the investment casting process, theory of dimensional chains, methods for calculating cutting conditions and time standards

The results obtained are a modernized technological process, an assembly drawing of the mold, and a developed casting manufacturing technology.

The novelty lies in the development of a technological process for investment casting, the development of a mold for casting, and the development of a single technological process for manufacturing a part.

The scope of application and implementation is the production of parts such as lids in mass production conditions.

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой завершающий этап обучения студента в высшем учебном заведении. Целью ВКР является демонстрация полученных знаний и навыков, а также проведение самостоятельного исследования по выбранной теме.

В данном проекте основное внимание уделяется разработке эффективной технологии производства, проектированию оснастки, расчету операционных размеров и режимов резания для детали "Крышка".

Анализ материалов, методов литья и обработки, а также применение современных технологий станков с ЧПУ позволят создать конкурентоспособный продукт, отвечающий требованиям современной промышленности.

Литейное производство играет ключевую роль в производстве металлических деталей, позволяя изготавливать сложные детали различных форм и размеров с высокой точностью и эффективностью.

В рамках работы особое внимание уделяется литейному производству как ключевому этапу создания качественной продукции. Анализ современных методов литья, выбор оптимальных материалов и технологий подготовки формы позволят разработать эффективную технологию изготовления детали, соответствующую высоким стандартам промышленности.

В данной работе уделено внимание как теоретическим, так и практическим аспектам процесса проектирования и изготовления детали "Крышка".

В рамках работы выделены следующие основные задачи:

- Разобрать конструкцию детали "Крышка";
- Разработать отливку согласно действующим стандартам;
- Спроектировать конструкцию литниково-питающей системы для обеспечения правильного наполнения формы металлом;
- Разработать оснастку для изготовления моделей и форм, необходимых для процесса литья детали;

- Спроектировать технологический процесс получения заготовки с использованием литья;
- Проверить конструкцию литниково-питающей системы и выявить возможные проблемы, предложив соответствующие решения;
- Разработать маршрутную технологию получения готовой детали;
- Выбрать необходимое оснащение для производства детали, обеспечивая эффективность процесса;
- Провести расчет операционных размеров и режимов резания для оптимального выполнения металлообработки детали "Крышка"

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ рабочего чертежа детали

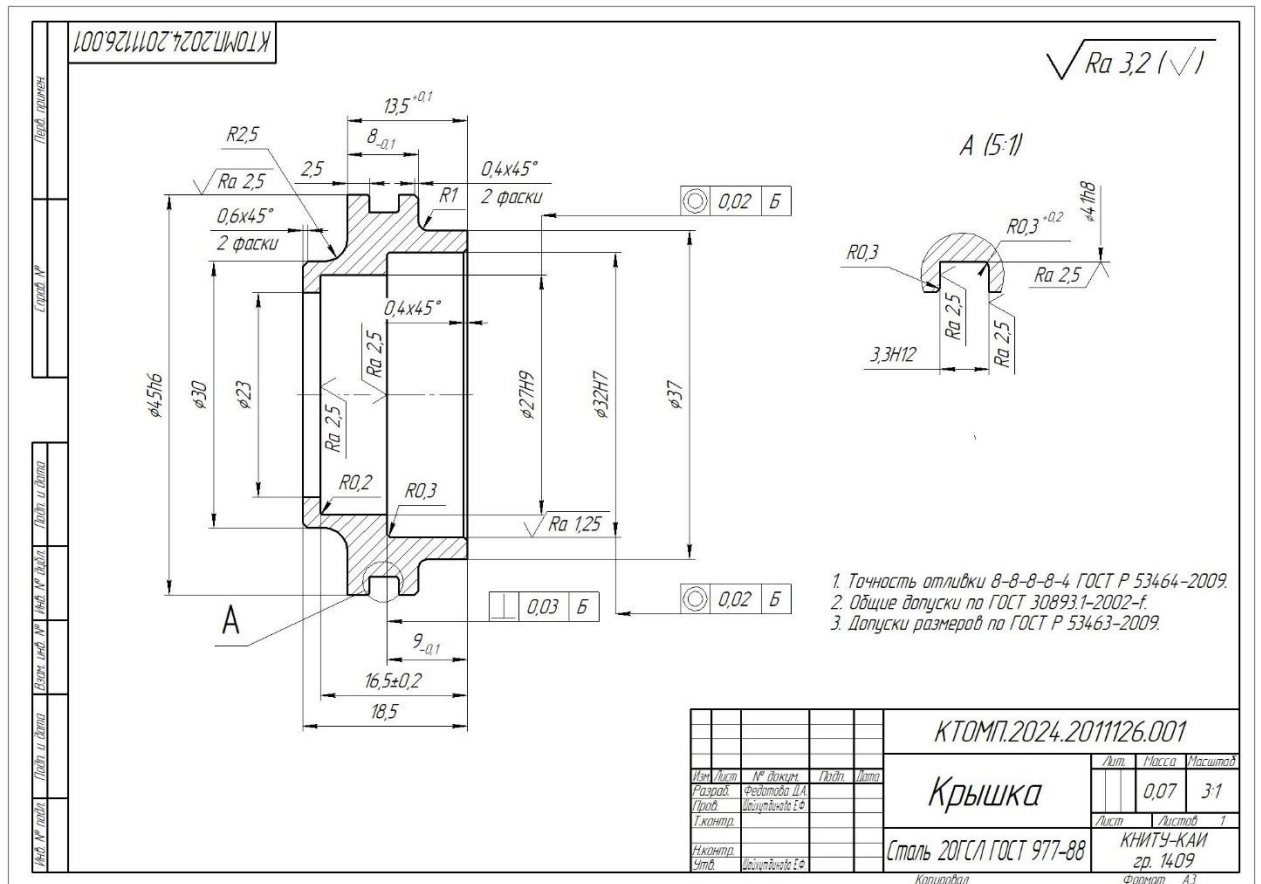


Рис. 1 Деталь «Крышка»

Крышка – 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 «Крышка» с габаритными размерами 18,5x45мм. На детали имеются ступеньки, которые выполнены переходом диаметров. Крышка представляет собой цилиндрическую деталь из совокупности поверхностей вращения и торцевых поверхностей простой геометрической формы. Все поверхности цилиндрические. Деталь содержит стандартные унифицированные элементы: фаски.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

9

По Общероссийскому классификатору 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 цилиндрической / С закрытыми уступами, без наружной резьбы / С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. без резьбы, ступенчатым / Без кольц. пазов на торцах, без пазов и/или шлицев на нар. пов., без отв. вне оси дет [1].

Код классификатора ЕСКД: 711651

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 цилиндрической / С закрытыми уступами, без наружной резьбы / С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. без резьбы, ступенчатым / Без кольц. пазов на торцах, без пазов и/или шлицев на нар. пов., без отв. вне оси дет.

Поиск по ОК ЕСКД

-	Информация о классификаторе ЕСКД
- ОК ЕСКД	Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93
» 71	Детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.
» 711	С L до 0,5 D вкл. с нар. поверхностью цилиндрической
» 7116	С закрытыми уступами, без наружной резьбы
» 71165	С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. без резьбы, ступенчатым
711651	Без кольц. пазов на торцах, без пазов и/или шлицев на нар. пов., без отв. вне оси дет.



Код классификатора ЕСКД 711651 / 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 цилиндрической / С закрытыми уступами, без наружной резьбы / С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. без резьбы, ступенчатым / Без кольц. пазов на торцах, без пазов и/или шлицев на нар. пов., без отв. вне оси дет.

Рис. 2 Классификатор ЕСКД

В соответствии с ГОСТ 2.109-73 «Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам» [2] исправлены следующие недочеты:

- размеры не выполнены в комбинированном виде;
- шероховатость указана по старому ГОСТу.

1.2 Материал детали

Для изготовления детали «Крышка» принимаем сталь 20ГСЛ.

Марка: 20ГСЛ

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ					Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	10

Класс: Сталь для отливок легированная

Использование в промышленности: корпусные детали, работающие при температуре до 450 °С.

Химический состав стали 20ГСЛ по ГОСТ 977-88 [3]:

Таблица 1 – Химический состав

Марка стали	Массовая доля элемента, %					
Обозначение по ГОСТ 977-88	Железо	Углерод	Марганец	Кремний	Фосфор	Сера
					не более	
20ГСЛ	97,62-98,18	0,16-0,22	1,00-1,30	0,60-0,80	0,030	0,030

Таблица 2 – Режимы термической обработки
стали 20ГСЛ

Марка стали	Режим термической обработки	
	Нормализация и отпуск	
	Нормализация	Отпуск
	Температура, °С	
20ГСЛ	870-890	570-600

Дополнительная информация и свойства:

Температура начала затвердевания, °С: 1487

Жидкотекучесть, Кж.т.: 0,9

Линейная усадка, %: 2,2 - 2,3

1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки

Правильный выбор заготовки играет важную роль в оптимизации технологического процесса изготовления деталей и оборудования, способствуя снижению затрат на материалы, уменьшению металлоемкости и минимизации отходов.

Основные факторы, влияющие на выбор метода и способа получения заготовок, включают:

- Форма и размеры заготовки;
- Точность формы, размеров и качество поверхности заготовок;
- Технологические свойства материала;

- Объем производства;
- Производственные возможности предприятия.

Для детали "Крышка" можно использовать отливку или прокат в качестве заготовок.

В данном случае будем использовать метод литья по выплавляемым моделям. Этот метод позволяет получить литые детали по разовым моделям в неразъемные керамические огнеупорные формы. После формирования керамической оболочки на поверхности модели, модель удаляется перед заливкой металла путем выплавления, выжигания или растворения.

Преимущества метода литья по выплавляемым моделям включают в себя:

- Повышенную точность за счет отсутствия разъема у формы;
- Возможность получения отливок самой сложной конфигурации из различных сплавов;
- Высокую точность и чистоту поверхности отливки, что позволяет исключить дополнительную механическую обработку.

1.4 Проектирование заготовки

Устанавливаем в соответствии ГОСТ Р 53464-2009 [4] допуски размеров, формы, расположение и неровности поверхностей, допуски массы и припуска на механическую обработку.

По приложению А назначим в соответствии с методом литья и материалом отливки класс размерной точности отливки 6 – 10. В соответствии с примечанием к приложению получаем 8.

По приложению Б назначаем степень коробления элементов отливки, по отношению размеров и параметров формы 5 – 8, учитывая примечание к приложению выбираем большее значение для сложных отливок из черных металлов, следовательно, получаем 8.

По приложению В назначаем степень точности поверхности отливок в соответствии с методом литья и материалом отливки 6 – 11. В соответствии с примечанием получаем 8.

По приложению Д назначаем класс точности массы отливки в соответствии с массой отливки 4 — 11т. В соответствии с примечанием принимаем среднее значение для деталей средней сложности, соответственно получаем 8.

По приложению Е выбираем ряд припусков на обработку отливки по степени точности поверхности отливки 8 получаем 2 — 5. Из условий в примечании принимаем среднее значение для стальных отливок 4.

а) назначаем припуск на обработку отливки

Припуски назначаются на поверхности, подлежащие механической обработке, обозначенные значком, над которым имеется цифра, указывающая размер шероховатостей поверхности.

Определим минимальный литейный припуск на обработку поверхности отливки в соответствии с таблицей 5 для устранения неровностей и дефектов литой поверхности и уменьшения шероховатости поверхности при отсутствии необходимости повышения точности размеров, формы и расположения обрабатываемой поверхности. Получаю 0,4 мм.

Далее по таблице 1, назначаем допуски линейных отливок, согласно классу точности и вносим их в сводную таблицу.

Затем по таблице 6, выбираем припуски, в соответствии с допуском на размер и рядом припуска и вносим в сводную таблицу Припуски размеров.

Таблица 3 – Допуски и припуски согласно ГОСТ Р 53464-2009

№	Размер	Вид оконч. обр.	Допуск, мм	Припуск, мм	Суммарный размер
Диаметральные размеры					
1	Ø27H9	чистовая	1,10	1,8	24±0,55
2	Ø32H7	чистовая	1,10	1,8	28±0,55
3	Ø45h6	тонкая	1,20	1,9	49±0,6
Линейные размеры					
2	8	чистовая	0,80	1,3	9,3±0,4
3	9	чистовая	0,80	1,3	7,7±0,4
4	13,5	чистовая	0,90	1,4	16±0,45
5	16,5	чистовая	1,00	1,5	15±0,5
6	18,5	черновая	1,10	1,6	21,7±0,5

Заготовка спроектирована в программе Компас v20.1. Ниже приведены рисунки последовательности создания 3D модели детали.

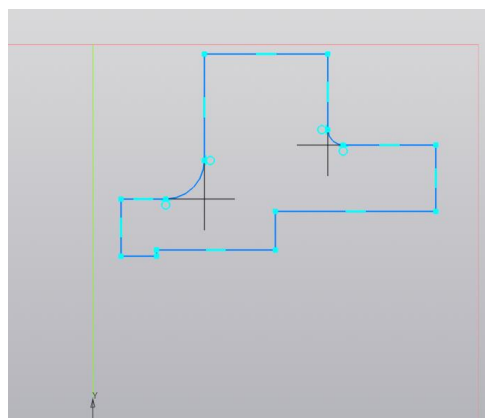


Рис. 3 Выбираем базовую систему координат XY. Создаем эскиз, используя размеры с чертежа.

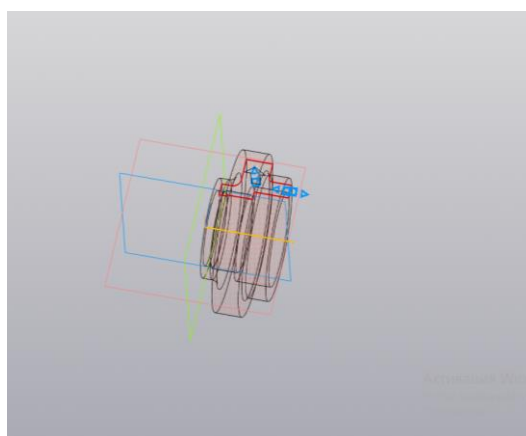


Рис. 4 С помощью команды «Вращение» создаем тело детали на основе полученного эскиза.

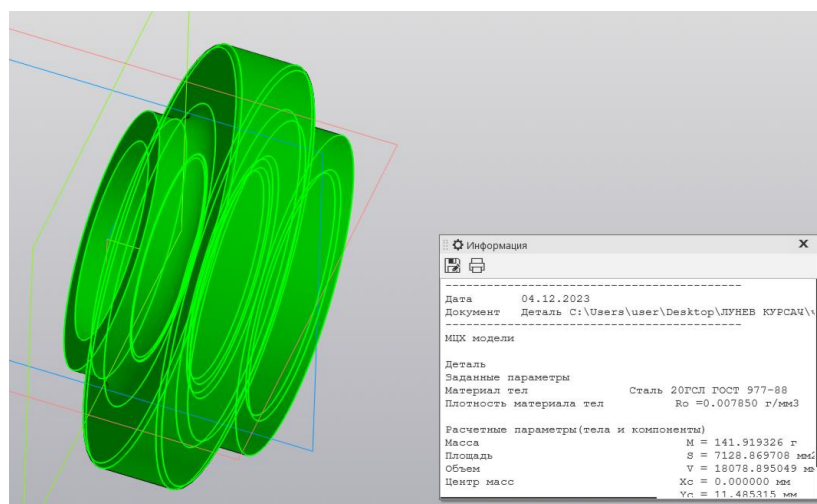


Рис. 5 3D модель заготовки «Крышка» с массо-центровочными характеристиками

Коэффициент использования материала (КИМ) в таком случае будет равен:

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{отливка}}} = \frac{70}{141} = 0,49$$

По результатам расчета КИМ видно, что оптимальной заготовкой будет являться отливка.

1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъема

Размещение отливки в форме осуществляется горизонтально.

Питатель располагается на самом большем диаметре в соответствии с его толщиной. В данном случае плоскость разъёма модели не имеет решающего значения, так как модель изготавливается из воска и удаляется из формы путём выплавления с одновременной сушкой оболочки.

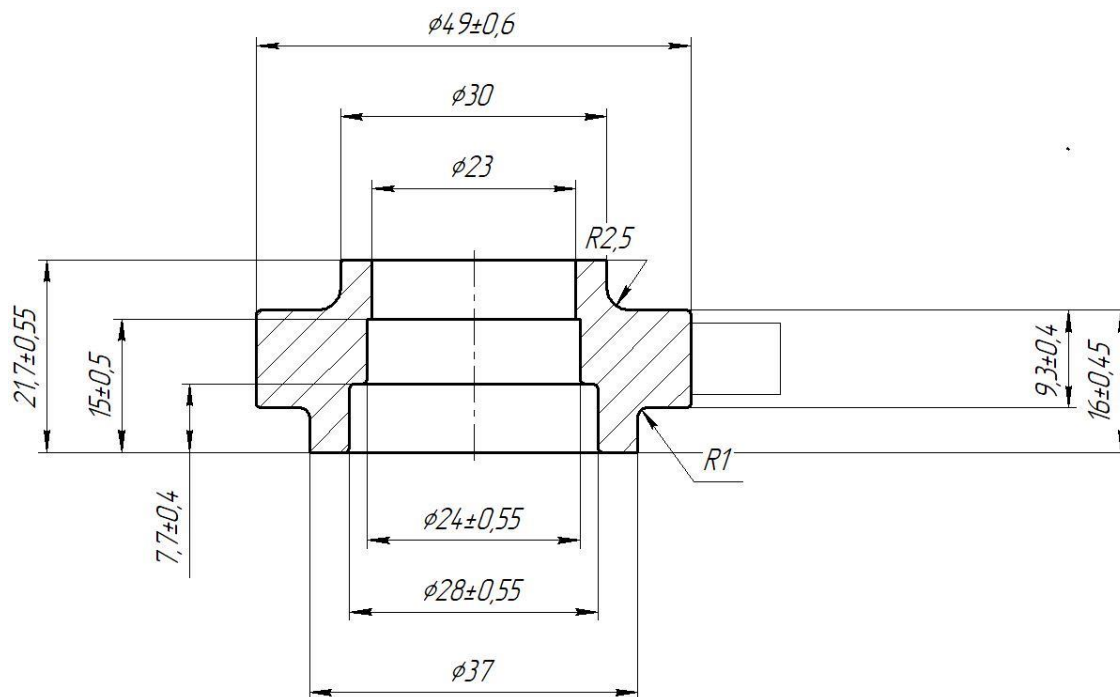


Рис. 6 Эскиз расположение отливки

1.6 Назначение литейных и формовочных уклонов

Формовочные уклоны необходимы для того, чтобы облегчить извлечение модели из формы без её повреждения. Уклоны назначаются на стенки модели, которые перпендикулярны плоскости разъёма формы.

Литейные уклоны обеспечивают выход газов между формой и заготовкой в процессе заливки или прессования. Величина уклона может быть

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

15

выражена либо углом наклона стенки к вертикали (в градусах), либо тангенсом угла (в процентах).

Размер уклона зависит от высоты стенки, материала модели и метода формовки. Металлические модели имеют более гладкую поверхность, поэтому они изготавливаются с меньшими уклонами по сравнению с деревянными моделями. Для машинной формовки, при которой модель вынимается механически, требуются меньшие уклоны, чем для ручной формовки.

Необходимые минимальные литейные, или формовочные, уклоны, устанавливаются по ГОСТ 3212-92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров» [5] пункт 1.6 «Значения формовочных уклонов для литья по выплавляемым моделям» таблица 3.

В случае обрабатываемых вертикальных стенок (перпендикулярны разреза формы) уклон всегда дается в плюс, если стенка отливки не обрабатывается, но имеет толщину меньше 8 мм. При толщине необрабатываемой стенки 8-12 мм уклон дается в плюс - минус пополам, а при толщине стенки свыше 12 мм – в минус, если высота стенки до 100 мм, и в плюс – минус, если она более 100мм.

Согласно таблице 3:

Высота стенки - до 25 мм

Ручные пресс-формы (формовочные уклоны не более):

Уклон в мм – 1

Угол наклона стенки – 3°

Наносим на внешние и внутренние поверхности.

1.7 Выбор количества отливок в форме

По заданию на курсовую работу, данная деталь изготавливается в условиях серийного производства. Исходя из полученных данных, анализа данного чертежи и зная, что данная деталь имеет массу равную 0,07 кг, согласно Табл.1 можно прийти к выводу, что тип производства является

среднесерийным и деталь относится к мелким деталям, что соответствует годовому объёму выпуска равному 500- 5000 шт.

Таблица 4 – Зависимость типа производства от объема выпуска и массы детали

Тип производства	Годовой объём выпуска деталей одного наименования, шт		
	Мелкие (до 10 кг)	Средние (св. 10 до 100 кг)	Тяжелые (св. 100 кг)
Единичное	до 100	до 10	до 5
Мелкосерийное	100 – 500	10 – 200	5 – 100
Среднесерийное	500 – 5 000	200 – 500	100 – 300
Крупносерийное	5 000 – 50 000	500 – 5 000	300 – 1 000
Массовое	св. 50 000	св. 5 000	св. 1 000

Учитывая массу, размеры детали, тип производства и метод литья, было принято решение разместить по три отливки в каждой секции. Всего таких секций будет семь.

1.8 Проектирование и расчет литниково-питающей системы

1.8.1 Выбор типа ЛСП

Литниково-питающая система (ЛПС) при литье по выплавляемым моделям состоит из традиционных элементов: литниковых воронок, стояков и прибылей. Благодаря неразъёмной форме, характерной для этого метода литья, эти конструктивные элементы можно расположить наиболее эффективно, максимально используя объём формы.

Для отливки «Крышка» лучше всего подойдёт литниково-питающая система 1-го типа, где питающий элемент — центральный стояк.

Эта ЛПС представляет собой стояк компактного сечения, к которому с разных сторон присоединяются небольшие отливки с индивидуальными питателями. Центральный стояк одновременно является и литниковым ходом, и коллективной прибылью, а питатели выполняют роль шеек прибылей. В

данной литниковой системе отсутствуют питающие элементы прибылей, так как отливка получает питание от стояка. Также нет элементов, которые регулируют скорость заливки и задерживают шлак и оксиды. Сечение стояка имеет круглую форму. [6]

Центральный стояк является основой для создания комплексного механизированного процесса производства небольших отливок. Использование унифицированного металлического каркаса в качестве несущей конструкции обеспечивает удобство сборки модельного блока по звеньям и его высокую прочность при изготовлении оболочковой формы. После того как блок уже отлит, центральный стояк надёжно закрепляется в приспособлениях станков во время очистки и отрезки отливок. [6]

ЛПС типа I находят широкое применение в производстве отливок массой до 1,5 кг. В ГОСТ 19551—74 [9] для отливок из стали и медных сплавов указаны основные размеры центрального стояка круглого сечения высотой до 600 мм. Диаметр стояков круглого сечения изменяется в пределах 25—56 мм. [6]

В нашем случае высота стояка равна 600 мм, а диаметр сечения 30 мм по ГОСТ 19551—74.

1.8.2 Расчет времени заливки

При выборе оптимального времени заливки необходимо учитывать, как и куда подаётся сплав. Если сплав подаётся снизу, то время заливки должно быть меньше, чем при подаче сверху, так как важно обеспечить достаточную температуру сплава в прибыли. А если сплав подаётся в тонкие части отливки, то более длительное время заливки поможет уменьшить внутренние напряжения в отливке.

Аналитическое определение $t_{\min}$ и $t_{\max}$ в настоящее время затруднено, поэтому в практике расчетов широко используются эмпирические зависимости. Наиболее широко известна формула Г.М. Дубицкого: [7]

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

где δ – среднестатистическая толщина отливки, мм;

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ					Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	18

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

G – общая металлоемкость формы, кг.

Среднестатистическая толщина ищется по формуле:

$$\delta = \frac{S_{\min \text{ сечения}}}{P_{\min \text{ сечения}}} = \frac{484.119428}{144.513262} = 3,35 \text{ мм}$$

Безразмерный коэффициент S для нашего случая примем равным 2.

Общая металлоемкость формы равна $G = 4,3$ кг

Можем найти время заполнения:

$$\tau_3 = 2 * \sqrt[3]{4,3 * 3,35} = 5,18457 \text{ с}$$

1.8.3 Расчет минимального сечения элемента литниковой системы

Конкретная литая деталь представляет собой уникальную конструкцию, что требует создания индивидуальной литниково-питающей системы (ЛПС) для каждой отливки.

Однако литые детали имеют много общего в размерах стенок, узлов и их соединений. Это позволяет типизировать конструкции ЛПС и разработать общие методы их расчёта. Расчёт сводится к определению площади наименьшего сечения литниковой системы (стояка или питателя), а затем — площадей сечения остальных элементов системы по соотношениям. Для сужающихся литниковых систем площадь наименьшего сечения F_n находят по формуле (метод Озанна–Диттерта). [7]

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

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:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5 + (0,8 * 21)}} = 0,2337$$

Гидростатический напор H_p равен 0,6 м.

Плотность стали по таблице равна 7850 кг/м³.

Тогда минимального сечения элемента ЛПС:

$$F = \frac{4,3}{0,2337 * 7850 * 4,8283 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,6}} = 0,000159345 \text{ м}^2$$

Площадь одного питателя равна 15,9 см² → 160 мм².

На основе всех расчётов можно составить схему блока отливок со стояком в сборе для последующего создания чертежа оболочки.

В качестве наглядного материала и для последующих расчётов создадим 3D-модель.

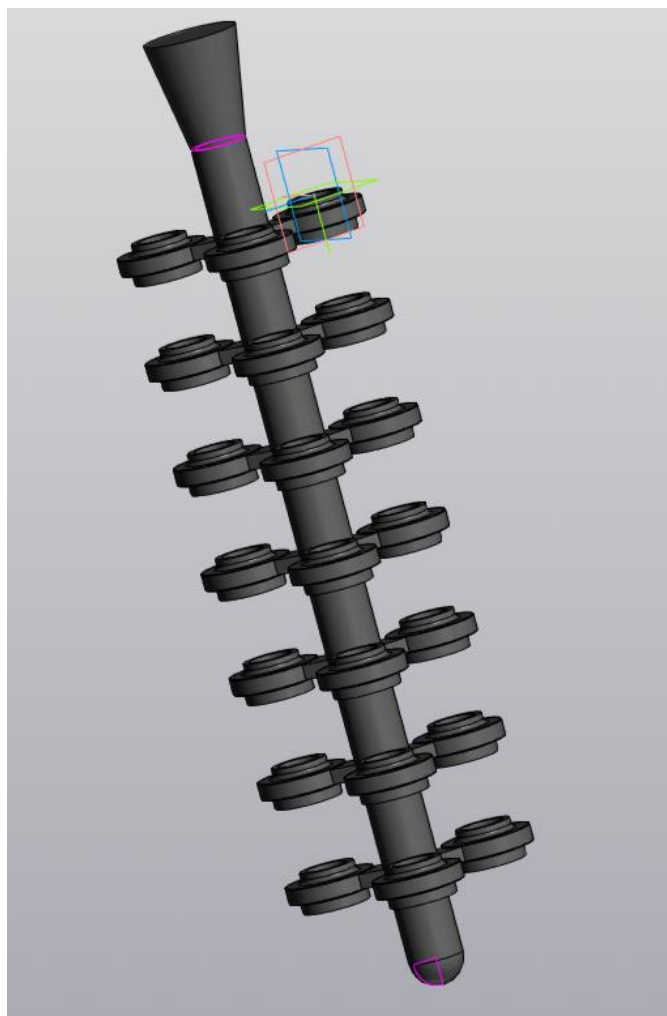


Рис. 7 3D модель блока в сборе

1.8.4 Расчет времени снятия теплоты перегрева, кристаллизации и охлаждения

Расчет времени будем вести, используя литературу. [7]

1. Время снятия теплоты перегрева:

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

где $m_{\text{отл}}$ – масса отливки, кг;

$T_{\text{пер}}$ – температура перегрева, К;

$T_{\text{лик}}$ – температура ликвидус, К;

$C_{\text{ж}}$ – 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*К;

T_0 – температура окружающей среды, К;

S – площадь поверхности отливки, m^2 ;

X – ширина отливки, м.

$$A = \frac{0,6}{38 * 295 * 0,23444963} = 0,000228$$

Найдем время снятия теплоты перегрева:

$$\tau_1 = 0,000228 * [6,48 * 482 * (1853 - 1803)] = 35,606304 \text{ с}$$

2. Время кристаллизации:

$$\tau_2 = A * [m_{отл} * L]$$

где $L = 84000$ Дж/кг, удельная теплота кристаллизации;

Получаем:

$$\tau_2 = 0,000228 * [6,48 * 84000] = 124,10496 \text{ с}$$

3. 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.

$$\tau_3 = 0,000228 * [6,48 * 469 * (1773 - 523)] = 866,1492 \text{ с}$$

Общее время затвердевания и охлаждения:

$$\begin{aligned} \tau_{общ} &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 35,606304 + 124,10496 + 866,1492 = 1025,860464 \text{ с} \\ &= 17,0976744 \text{ мин.} \end{aligned}$$

1.9 Проектирование пресс-формы

Пресс-форма представляет собой инструмент, который используется для создания модели. Точность размеров полости формы и, соответственно, отливки напрямую зависит от точности модели. Поэтому основное требование к пресс-форме — возможность получения моделей с заданной точностью размеров и шероховатостью поверхности.

Точность размеров модели и качество её конфигурации зависят от точности размеров полости пресс-формы и её конструкции. Конструкция пресс-формы должна обеспечивать лёгкое и быстрое извлечение модели без деформаций и повреждений. Чем меньше разъемов имеет пресс-форма, тем

выше точность моделей. Поэтому стремятся минимизировать количество разъёмов. Однако для сложных моделей иногда необходимо несколько разъёмов, чтобы обеспечить их извлечение.

По конструкции и методам изготовления различают пресс-формы для единичного и мелкосерийного производства, серийного и массового производства.

Существует три способа изготовления пресс-формы это:

- литьём;
- механообработкой;
- комбинированный способ.

Для качественного заполнения пресс-формы модельным составом необходимо наличие соответствующей литниковой системы, а также вентиляционной системы, которая будет обеспечивать удаление воздуха из полости формы при заполнении её модельным составом.

Конструкция пресс-формы должна быть максимально простой и не содержать лишних элементов и механизмов. Сборку, установку стержней, разборку пресс-формы и извлечение моделей выполняют вручную.

1.9.1 Требования, предъявляемые к пресс-формам

Основной целью при проектировании пресс-формы является изготовление модели отливки с заданной точностью и шероховатостью поверхности.

При разработке необходимо учитывать следующие аспекты:

- тип производства, что определяет выбор материала для пресс-формы;
- количество разъёмов пресс-формы, так как меньшее их число обеспечивает более высокую точность модели;
- обеспечение хорошего заполнения пресс-форм модельным составом, включая наличие ЛПС и вентиляционной системы для удаления воздуха;
- лёгкое, быстрое и без повреждений извлечение модели из формы;

- быстрое охлаждение модельного состава в форме;
- долговечность;
- производство большого количества качественных моделей для повышения производительности;
- простота конструкции.

Для серийного производства выбрана ручная пресс-форма, собранная из стандартных деталей. Эта конструкция характеризуется относительной быстротой и простотой разборки, сборки, ремонта и замены стержня.

Материал пресс-формы — алюминиевый сплав, обеспечивающий достаточную долговечность и устойчивость формы.

1.9.2 Выбор составных частей пресс-формы

Пресс-форма позволяет изготавливать одну восковую модель. Поскольку размеры заготовки не очень большие, использование такой модели вполне возможно. Одним из главных преимуществ являются низкие затраты на изготовление и простота конструкции.

Пресс-форма будет состоять из верхней и нижней полуматриц, которые будут соединяться между собой при помощи откидных болтов. Для точного центрирования будут использоваться специальные штыри, расположенные по диагонали. Такое расположение обеспечивает наибольшую эффективность.

Для изготовления отверстия в отливке будем использовать стержень. При помощи ГОСТ 3212-92 проектируем стержень, знаковые части. Для извлечения стержня из пресс-формы предусматриваем кольцо.

1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям

Литьё по выплавляемым моделям — это метод изготовления отливок в неразъёмных разовых формах, преимущественно оболочковых, которые отличаются повышенной точностью.

Основные операции технологического процесса: модель или звено моделей 2 изготавливают в разъёмной пресс-форме 1, рабочая полость которой имеет конфигурацию отливки с припусками на усадку и обработку резанием (рис. 8, а). Модель изготавливают из материалов, имеющих невысокую

температуру плавления (воск, стеарин, парафин), способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или звенья моделей собирают в блоки 3 (рис. 8, б). Блок моделей состоит из звеньев, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка изготавливают отдельно и устанавливают в блок при его сборке. Блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью — суспензией для оболочковых форм, состоящей из пылевидного огнеупорного материала, например, кварца пылевидного, и связующего (рис. 8, в). В результате на поверхности модели образуется тонкий (менее 1 мм) слой 4 суспензии. Для упрочнения этого слоя, увеличения его толщины на него наносят слои огнеупорного зернистого материала 5 (кварц, электрокорунд, зернистый шамот) (рис. 8, г). Операции нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения на модели оболочки требуемой толщины (3 — 10 слоев).

Каждый слой покрытия высушивают на воздухе или в парах аммиака 6, что зависит от связующего (рис. 8, д). После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее по вышеприведённым методам. На рис. 8, е показан процесс удаления выплавляемой модели в горячей воде 7 ($T=373K$). [8]

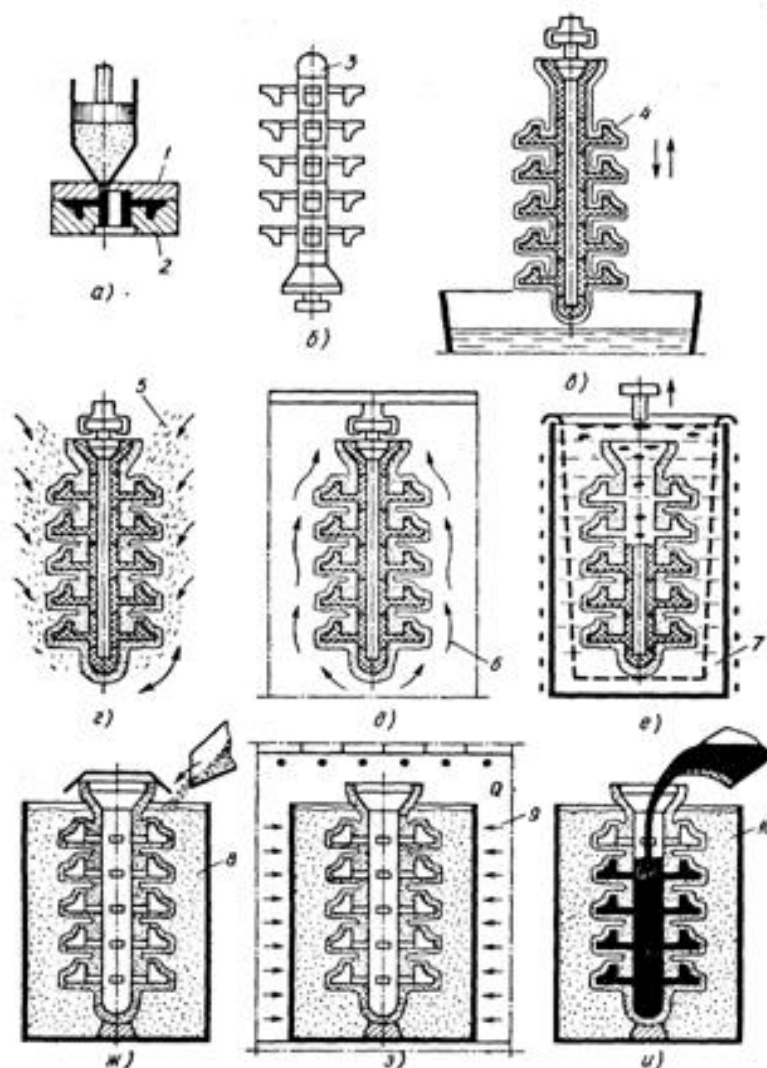


Рис. 8 Последовательность изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям.

Так получают многослойную оболочковую форму по выплавляемой модели. Для упрочнения перед заливкой оболочковую форму помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным материалом 8 (кварцевым песком, мелким боем использованных оболочковых форм) (рис. 8, ж). Для удаления остатков моделей из формы и упрочнения связующего контейнера с оболочковой формой помещают в печь 9 для прокаливания (рис. 8, з). Форму прокаливают при температуре 1223 - 1273 К. Прокаленную форму 10 извлекают из печи и заливают расплавом (рис. 8, и). После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форму выбивают, отливки очищают от остатков керамики и отрезают от них литники. [8]

Используя метод ЛВМ для изготовления данной отливки, мы сможем максимально приблизить её форму и размеры к готовой детали. В некоторых случаях литая деталь не требует дополнительной обработки перед сборкой. Это существенно снижает трудоёмкость и стоимость производства изделий, уменьшает расход металла и инструмента, экономит энергетические ресурсы. Также сокращается потребность в высококвалифицированных рабочих, оборудовании, приспособлениях и производственных площадях.

1.11 Разработка технологии изготовления моделей и оболочковых форм

1.11.1 Изготовления моделей и сборка блока

а) Модельный состав:

Для получения отливки необходимо сначала изготовить её модель. Для этого используются различные модельные составы: выплавляемые, растворяемые и выжигаемые.

В расплавленном состоянии модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью, чтобы точно воспроизводить конфигурацию модели при заполнении полости пресс-формы и легко и полностью удаляться из оболочковой формы. Усадка состава при охлаждении и его расширение при нагреве должны быть минимальными и стабильными, чтобы обеспечить высокую точность моделей и отливок. Модельный состав не должен прилипать к поверхности пресс-формы, а его химическое взаимодействие с материалом пресс-формы недопустимо.

После затвердевания в пресс-форме модельный состав должен иметь прочность и твёрдость, достаточные для того, чтобы модели не деформировались и не ломались на последующих этапах технологического процесса.

Выбираем стандартный материал – парафин. Это смесь углеводородов, состава C₁₈H₃₈-C₃₅H₇₂, температура плавления 40...65С, плотность 880...900 кг/м³. В воде и спиртах не растворим. Растворим в минеральных маслах.

При 140С окисляется кислородом до органических кислот. Получают его сухой перегонкой бурого угля и горючих сланцев. Применяют технический парафин – воскоподобную массу белого цвета, содержащую до 3% масла. Является недефицитным и довольно дешевый.

б) процесс изготовления моделей:

Процесс создания моделей включает в себя следующие этапы:

- подготовка пресс-формы;
- заполнение пресс-формы модельным составом;
- выдержка для затвердевания и охлаждения модели;
- разборка пресс-формы и извлечение модели;
- выдерживание модели до окончания усадки.

В единичном, мелкосерийном и серийном производстве модели создаются в неавтоматизированных пресс-формах. Пресс-формы заполняются с помощью шприц-машины (рис. 9) или ручного шприца.

Шприц-машины для изготовления восковых моделей бывают С-образной конструкции и с четырьмя направляющими.



Рис. 9 Шприц-машина с четырьмя направляющими

в) сборка моделей в блок:

Модели могут быть собраны последовательно в блок, либо каждая модель может быть припаяна отдельно к центральному стояку. Литниковая чаша также изготавливается отдельно и припаивается индивидуально.

1.11.2 Изготовление оболочковой формы

Следующий этап технологического процесса осуществляется с использованием оборудования для сборки моделей. Соединение может быть выполнено в кондукторе, механическим способом или пайкой. Во многих случаях сборка выполняется вручную. Поскольку у нас серийное производство, мы используем пайку. Для сборки моделей пайкой применяются электрические паяльники с плоским широким жалом.

Для приготовления огнеупорного покрытия литейной формы используется установка или агрегат, который непрерывно готовит суспензию из электрокорунда, этилсиликата, воды и ацетона.

Нанесение огнеупорного покрытия на модельные блоки происходит автоматически. Блоки погружаются в ёмкость с клейким составом, а затем — в псевдокипящий слой песка. Через слой песка снизу пропускается сжатый воздух, который разделяет песчинки. Благодаря этому блоки погружаются в песок без значительного сопротивления. Размер зёрен песка составляет 0,25 мм, а для первого слоя — до 0,16 мм.

Оболочковая форма должна соответствовать следующим требованиям:

- обладать достаточной прочностью;
- не деформироваться при заливке, затвердевании и охлаждении отливки;
- быть химически инертной к модельному составу и металлу отливки;
- обеспечивать получение отливок с поверхностью требуемой шероховатости и высокой точностью размеров, массы и конфигурации.

Выбираем электрокорунд. Это синтетический материал Al_2O_3 , полученный из чистого глинозёма в электрических печах. Плотность

составляет 3960 кг/м², а температура плавления зависит от его чистоты и может варьироваться от 2000 до 2120 °С.

Оболочки, изготовленные из электрокорунда, обладают высокой термостойкостью, трещиностойкостью и механической прочностью. Их можно заливать без использования опорного наполнителя.

В качестве связующего материала будем использовать этилсиликат – 40 по ГОСТ 26371-84 [10], который удовлетворяет следующим требованиям:

- смачивает поверхность модели;
- не растворяет модель и не вступает в реакцию с составляющими модельного состава;
- имеет достаточную вязкость.

Этилсиликаты не обладают связующими свойствами, а являются исходными продуктами для их получения. Они представляют собой продукт реакции этилового спирта с четырёххлористым кремнием (C₂H₃O)₄Si.

Для получения связующих свойств этилсиликатов используется гидролиз в присутствии катализаторов, чаще всего соляной кислоты. Гидролиз проходит на поверхности раздела фаз этилсиликата и воды, так как этилсиликат не растворяется в воде. Для того чтобы реакция прошла по всему объёму, используют растворители, которые обеспечивают смешение обоих компонентов реакции.

Рекомендуется добавить в суспензию поверхностно активное вещество, в данном случае оксид хрома Cr₂O₃.

Сушка слоёв огнеупорного покрытия производится в установке непрерывного действия на подвесном конвейере или в установке периодического действия воздействием тёплого воздуха, затем в среде, насыщенной аммиаком (реакция замещения).

Следующим шагом является извлечение модели из литейной формы. Существует несколько методов для извлечения модельной массы из формы:

- путём погружения в горячую воду;

- используя нагретый воздух или пар, который подаётся в литниковую систему модельного блока;
- в специальных печах, которые также применяются для отжига форм.

Последний метод часто применяется не столько для выплавления, сколько для сжигания модельной массы, поскольку в этом случае материал не только плавится, но и сгорает.

Мы выберем метод выплавления модели в горячей воде для удаления модельного комплекса. Этот метод имеет следующие преимущества:

1. Позволяет более эффективно (на 80-95%) использовать материал модельного состава для создания новых моделей и литниковых систем, благодаря возможности его повторного применения.
2. В отличие от метода сжигания, он обеспечивает полное извлечение модельной массы даже из труднодоступных мест отливки.

В процессе выплавления модельной массы критически важно контролировать уровень кислотности среды, используя контакт Петрова. Оптимальное значение pH должно быть на уровне 9, что обеспечивает щадящее удаление материала без повреждения формы.

Следующим этапом является прокалка форм при температуре 850°C - 950°C. Керамические формы прокаливают для удаления из них влаги и остатков модельного состава, наличие которых привело бы к браку.

Заливка форм расплавленным металлом выполняется как обычно. Металл заливают в разогретую форму.

1.12 Расчет шихты и выбор плавильного агрегата

1.12.1 Выбор плавильного агрегата

Индукционная плавильная печь – электротермическая установка для плавки материалов с использованием индукционного нагрева. В промышленности применяют в основном индукционные тигельные печи и индукционные канальные печи (Рис. 10). [11]

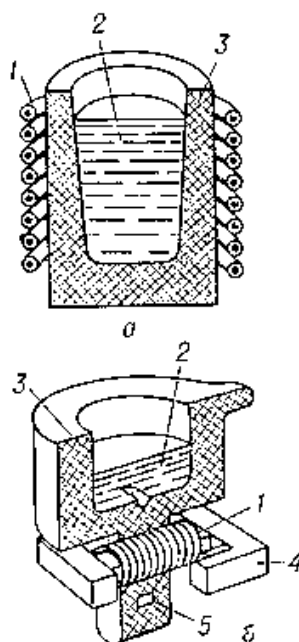


Рис.10 Схемы индукционных плавильных печей:

а — тигельная, б — канальная; 1 — индуктор; 2 — расплавленный металл; 3 — тигель; 4 — магнитный сердечник; 5 — подовый камень с каналом тепловыделения.

Тигельная печь состоит из индуктора, представляющего собой соленоид, выполненный из медной водоохлаждаемой трубки, и тигля, который в зависимости от свойств расплава изготавливается из керамических материалов, а в специальных случаях - из графита, стали и др. В тигельных индукционных печах выплавляют сталь, чугун, драгоценные металлы, медь, алюминий, магний. Печи изготавливают с ёмкостью тигля от нескольких кг до нескольких сотен тонн. Они выполняются: открытыми, вакуумными, газонаполненными и компрессионными; питание печей осуществляется токами низкой, средней и высокой частоты. [11]

Основные узлы канальной индукционной печи: плавильная ванна и т. н. индукционная единица, в которую входят подовый камень, магнитный сердечник и индуктор.

Отличие канальных печей от тигельных состоит в том, что преобразование электромагнитной энергии в тепловую происходит в канале тепловыделения, который должен быть постоянно заполнен

электропроводящим телом. Для первичного пуска канальных индукционных печей в канал заливают расплавленный металл или вставляют шаблон из материала, который будет плавиться в печи. При завершении плавки металл из печи сливают не полностью, оставляя так называемое "болото", которое обеспечивает заполнение канала тепловыделения для последующего пуска. Для облегчения замены подового камня индукционные единицы современных печей изготавливают отъемными. [11]

Индукционные тигельные печи, используемые в качестве плавильных устройств, обладают рядом преимуществ.

Среди них особо выделяются возможность получения чистых металлов и сплавов с точным составом, стабильность свойств металла, низкий угар и высокая производительность. Также их отличает возможность автоматизации, удобные условия труда для персонала и минимальное воздействие на окружающую среду

Достоинства тигельных плавильных печей: [11]

- Выделение энергии непосредственно в загрузке, без промежуточных нагревательных элементов.
- Принципиальная возможность создания в печи любой атмосферы (окислительной, восстановительной, нейтральной) при любом давлении (вакуумные или компрессионные печи).
- Высокая производительность, достигаемая благодаря высоким значениям удельной мощности (особенно на средних частотах).
- Простота и удобство обслуживания печи, управления и регулирования процесса плавки, широкие возможности для механизации и автоматизации процесса.
- Высокая гигиеничность процесса плавки и малое загрязнение воздушного бассейна.

Необходимо отметить следующие недостатки тигельных печей: [11]

- Относительно низкая температура шлаков, наводимых на зеркало расплава с целью его технологической обработки.

– Сравнительно низкая стойкость футеровки при высоких рабочих температурах расплава и при наличии теплосмен (резких колебаний температуры футеровки при полном сливе металла).

– Высокая стоимость электрооборудования, особенно при частотах выше 50 Гц.

– Более низкий КПД всей установки вследствие необходимости иметь в установке источник получения высокой или повышенной частоты.

Для плавки стали 20ГСЛ применяем индукционную тигельную печь типа ИСТ-0,25/0,32-И1.

Электродпечь ИСТ-0,16/0,25-И1 предназначена для расплавления и перегрева стали. Электродпечь применяется в литейных цехах металлургических заводов, а также в цехах точного стального литья и ремонтных цехах машиностроительных заводов для получения стальных отливок высокого качества. [12]

Технические данные печи ИСТ-0,25/0,32-И1 приведены в таблице 4.

Таблица 5 – Технические характеристики печи ИСТ–0,25/0,32–И1

Наименование параметра	Численные значения параметра
Ёмкость печи (по стали), кг	250
Допустимая температура перегрева металла, °С	1600
Номинальная мощность питающего преобразователя, кВт	320
Максимальная скорость плавки, т/ч	0,49
Время расплавления и перегрева, ч	0,51
Площадь, занимаемая изделием, м ²	28

1.12.2 Разработка технологии плавки сплава

Плавку стали в индукционных тигельных печах можно осуществлять кислым (SiO₂) и основным (MgO) процессом.

В кислом тигле индукционных печей, аналогично кислым дуговым печам, не рекомендуется плавить стали с содержанием марганца, титана,

алюминия, циркония и других активных элементов из-за возможного преждевременного износа кислой футеровки из-за оксидов марганца и восстановления титаном, алюминием, цирконием кремниевого шлака и футеровки.

В процессе кислой индукционной плавки, как и в других кислых процессах, не создаются условия для превращения фосфора и серы из металла в шлак. Также в индукционных печах из-за более низкой температуры шлака и большей глубины ванны менее благоприятны условия для окисления углерода. Хотя избыток углерода можно удалить, не рекомендуется превышать содержание углерода в шихте более чем на 0,1% от допустимого содержания в готовой стали, а содержание фосфора и серы должно быть ниже установленных пределов для стали.

В индукционных печах с кислым тиглем плавку обычно проводят без окисления, легирующие добавки добавляют в расплав. Из-за быстрого процесса плавки нет времени на многократную проверку состава металла, поэтому плавка основывается на предварительных расчетах, точном знании состава шихты и ее тщательном взвешивании.

Шихтовые материалы и их загрузка в печь: [13]

Шихту для индукционных печей следует составлять, учитывая рациональный подбор размеров кусков шихты и плотную их укладку в печи.

После окончания загрузки печь необходимо закрыть крышкой и включить ток.

В начале периода плавления сначала, после включения печи, между кусками шихты в местах их плохого контакта происходят замыкания. В цепи индуктора эти замыкания вызывают толчки тока, поэтому плавление начинают на пониженной мощности источника. По мере прекращения толчков источник тока переключают на полную мощность.

Плавление шихты начинается в первую очередь на половине высоты индуктора у стенок тигля, затем постепенно распространяется вниз и вверх.

По мере оседания шихты постепенно погружают оставшуюся часть ее, следя за тем, чтобы холодные куски не попадали в жидкий металл, так как это может вызвать вскипание металла.

Во время плавления необходимо следить за показаниями приборов и поддерживать максимальную мощность источника тока.

1.12.3 Расчет шихты

При формировании шихты для индукционных печей важно учитывать рациональный подбор размеров кусков шихтовых материалов и плотность их укладки в печи. Использование мелких кусков приводит к недостаточной генерации удельной мощности, что увеличивает время плавления и расход электроэнергии.

При выборе состава шихты необходимо принимать во внимание влияние химических элементов на структуру и свойства получаемой стали. Состав шихты должен обеспечивать содержание всех элементов после расплавления, близкое к заданному в готовой стали.

Исходные данные:

Химический состав стали 20ГСЛ по ГОСТ 977-88: [3]

Таблица 6 – Химический состав

Марка стали	Массовая доля элемента, %					
Обозначение по ГОСТ 977-88	Железо	Углерод	Марганец	Кремний	Фосфор	Сера
					не более	
20ГСЛ	97,62-98,18	0,16-0,22	1,00-1,30	0,60-0,80	0,030	0,030

Для плавки сплава будет использоваться индукционная тигельная печь. Такие печи могут вмещать от 60 кг до 10 тонн материала. Обычно плавка в таких печах занимает не более 1–1,3 часа.

Выбираем кислую футеровку для тиглей, так как её стойкость в два раза выше, чем у основной футеровки, а стоимость ниже.

Есть три метода расчёта шихты: метод подбора, аналитический метод и графический метод.

Расчет шихты методом подбора

Дано:

Масса металлической заправки на одну заливку 10 кг.

Угар элементов при плавке, % 15 Si; 20 Mn и пригар 10 С.

Химический состав стали шихтовых материалов приведен в таблице ниже:

Таблица 7 – Состав шихтовых компонентов

Компоненты	C	Si	Mn	P	S
Возврат собственного производства	0,3	0,57	0,35	0,04	0,045
Стальной лом	0,2	0,3	0,8	0,05	0,05

Решение:

С учетом угара в шихту необходимо ввести кремния и марганца:

$$\mathfrak{Z}_{Si} = \frac{0,8 * 100}{(100 - 15)} = 0,94\%$$

$$\mathfrak{Z}_{Mn} = \frac{1,3 * 100}{(100 - 20)} = 1,625\%$$

Определим процентное содержание компонентов в шихте. В соответствии с составом шихты необходимо составить из 2-х сортов металла.

С учетом имеющихся шихтовых материалов и химического состава подбираем массу отдельных компонентов колоши, производим расчет элементов в колоше:

Таблица 8 – Расчет содержания элементов в колоше

Наименование материала	Содержание в шихте		Химический состав, %				
	кг	%	C	Si	Mn	P	S
Возврат собственного производства	3	30	0,3*0,3= 0,09	0,3*0,57= 0,171	0,3*0,35= 0,105	0,3*0,04= 0,012	0,3*0,045= 0,0135
Стальной лом	7	70	0,7*0,2= 0,14	0,7*0,3= 0,21	0,7*0,8= 0,56	0,7*0,05= 0,035	0,7*0,05= 0,035
Итого	10	100	0,23	0,381	0,665	0,047	0,0485

Из расчетов видно, что необходимо добавить след. элементы:

Кремний: 0,8-0,381=0,419% или 0,419·10/100=0,0419 кг.

Недостаток кремния можно восполнить, для этого вводим ферросилиций. Например, ферросилиций ФС45 с содержанием кремния 45%. Следовательно, на одну завалку весом 10кг необходимо ввести:

$$100 \cdot 0,0419 / 45 = 0,094 \text{ кг.}$$

Марганец: $1,3 - 0,665 = 0,635\%$ или $0,635 \cdot 10 / 100 = 0,0635 \text{ кг.}$

Недостающее количество марганца восполняем ферромарганцем ФМн70 с содержанием 70% по расчет:

$$100 \cdot 0,0635 / 70 = 0,091 \text{ кг.}$$

На основании расчета шихты методом подбора можно записать состав шихты металлической завалки массой 10 кг:

Таблица 9 – Итоги расчета

Наименование составляющих	Содержание, кг
Возврат собственного производства	3
Стальной лом	7
Ферросилиций ФС45 ГОСТ 1415-93	0,094
Ферромарганец ФМн70 ГОСТ 4755-91	0,091
Итого	10,185

1.13 Заключительные этапы процесса: формовка, заливка, выбивка, очистка и отделение отливок

а) формовка

Для предотвращения разрушения оболочки ее можно заформовать в опорный наполнитель, которым являются огнеупорные материалы. Основными из них являются сухой кварцевый песок и шамотный порошок. Главным критерием выбора является высокая огнеупорность и одинаковый с материалом оболочки температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), что позволяет исключить возникновение напряжений и появление трещин в оболочке. Также допускается заливка и без опорного материала. [14]

Используются два метода: формовка в холодном состоянии и в горячем. Холодный метод применяется чаще - оболочка в контейнере обсыпается огнеупором и уплотняется на вибростоле, после чего прокаливается. Горячий метод используется больше в массовом производстве с предварительно

нагретым огнеупорным материалом, при этом оболочка прокаливается заранее, что сокращает время на прокаливание, уменьшает напряжение в оболочке и повышает стабильность процесса. В данном случае используется холодный метод, и перед заливкой система прогревается до 900°C , что способствует получению преимуществ горячего метода.

б) заливка

Как отмечалось ранее, заливка металла происходит в разогретую систему. В зависимости от сплава, заливку могут осуществлять как в вакууме, так и на воздухе. В данном случае речь идет о сплаве общего назначения, поэтому заливка происходит на воздухе.

Для условий серийного и массового производства с массой отливок до 1,5 кг существуют специальные агрегаты, позволяющие совместить ряд операций. Рассмотрим один из таких агрегатов: [15]

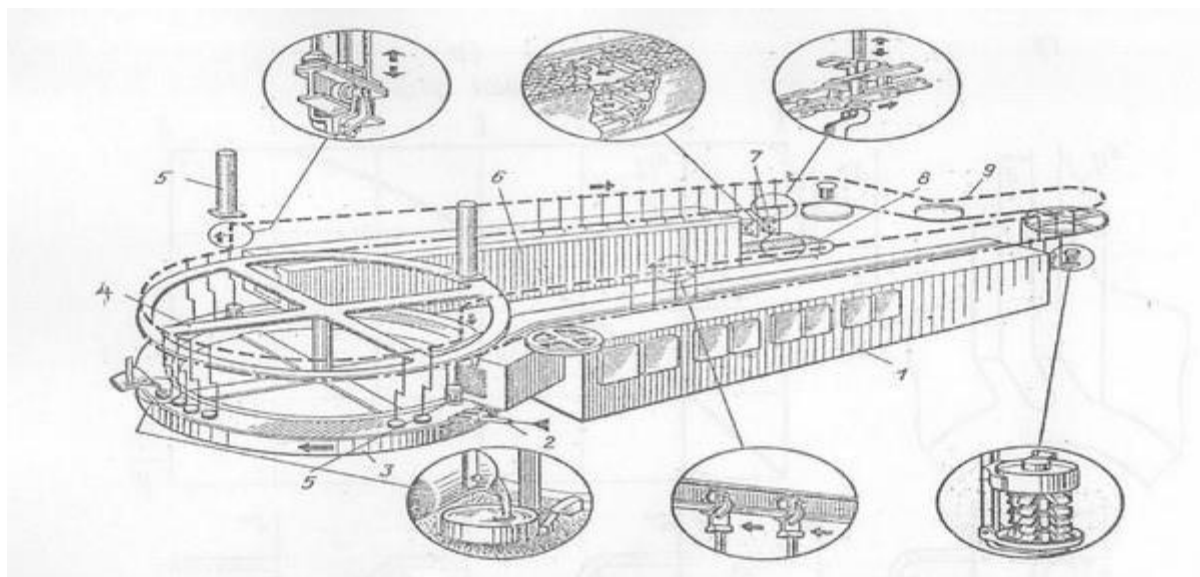


Рис. 11 Схема агрегата для прокаливания, формовки, заливки, и выбивки
 1 – газовая печь; 2 – трубы для создания зоны кипящего слоя песка; 3 – заливочная карусель; 4 – звездочка привода цепного конвейера; 5 – пневматические устройства для спуска оболочковых форм в опорный материал в зоне кипящего слоя и извлечения блока затвердевших отливок; 6 – охлаждающая камера; 7 – блок отливок из позиции очистки от остатков керамики; 8 – конвейер для удаления остатков керамики; 9 – конвейер

В таких агрегатах технологические установки объединены транспортным устройством в единую систему.

Например, агрегат для формовки и заливки (рис. 11) состоит из газовой печи 1 прокаливания форм, заливочной карусели 3 со звездочками 4 и камеры охлаждения 6, объединенных конвейером 9.

Формы устанавливают на подвески конвейера 9, литниковую воронку закрывают колпачком, который предохраняет полость формы от засоров песком при формовке на подвеске. Конвейер транспортирует подвески с оболочковыми формами через печь прокаливания. Прокаленные формы после выхода из печи формуют в опорный (горячий) материал на карусели. Опускание подвесок выполняется пневматическим цилиндром. На участке формовки блоков в карусели с помощью неподвижно установленных труб 2 с отверстиями создается зона кипящего слоя песка. После заливки форм и затвердевания отливок блок на подвеске извлекается «лифтом» 5 из карусели 3 и транспортируется в камеру охлаждения 6. Блоки отливок охлаждаются распыленной водой. Обломки оболочковой формы, отделившиеся от блока 7 отливок, падают на конвейер 8 и направляются на регенерацию. [15]

Производительность агрегата 90 блоков/ч. Скорость конвейера 0,6 м/мин. Шаг подвесок 400 мм. Длительность прокаливания 24 мин.[15]

в) выбивка и отделение отливок от ЛПС

Далее используют вибрационные машины для удаления корки после выбивки на блоках отливок. За счёт ударной вибрации происходит разрушение и отделение керамической оболочки с поверхности металлического блока. Далее происходит отрубка на вертикальных гильотинных устройствах.

г) доводка отливок

Для очистки отливок применяют дробеструйную очистку. Для придания скорости струе дроби используют всасывающие и нагнетательные дробеструйные аппараты.

На рис. 12 показаны конструкция и принцип действия простого дробеструйного аппарата.

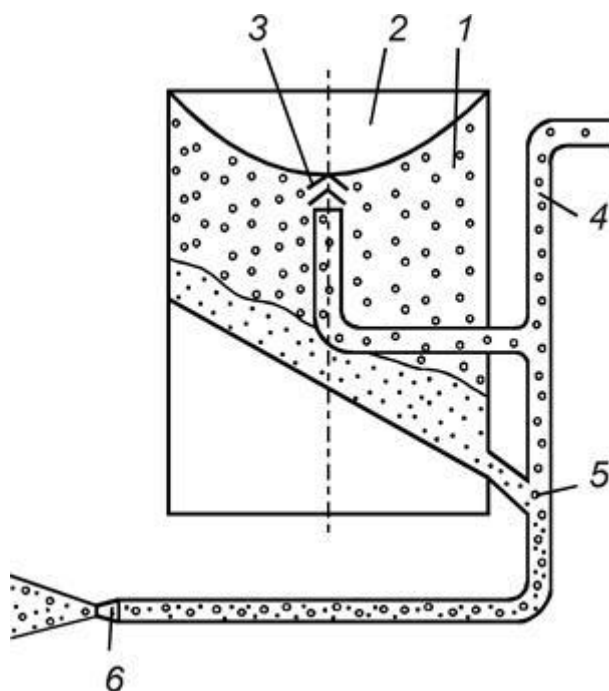


Рис. 12 Схема устройства дробеструйного аппарата

1 – бак; 2 – загрузочная воронка; 3 – клапан; 4 – шланг; 5 – смесительная камера; 6 – сопло

Аппарат имеет герметически закрываемый бак, в котором под давлением сжатого воздуха находится дробь. Под действием силы тяжести и давления сжатого воздуха, которое в баке 1 выше, чем в смесительной камере 5, дробь подается в смесительную камеру и увлекается оттуда через шланг к рабочему соплу 6.

Для пополнения камеры дробью прекращают поток сжатого воздуха в полость бака и соединяют ее с атмосферой. При этом клапан 3 под воздействием веса дроби опускается, и дробь из загрузочной воронки 2 попадает в полость камеры 1.

После дробеструйной обработки следует термообработка, для снятия остаточных напряжений в отливке.

Финишной операцией перед механической обработкой является дробеструйная обработка. Ее используют для контрольной очистки отливок после термообработки.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

41

1.14 Моделирование процессов литья

Для проверки нашей ЛПС проведем расчет процесса заливки и затвердевания металла в ПО NovaFlow & Solid CV 4.6r4.

Добавим уже готовую 3D-модель и создадим оболочку толщиной в 5 мм:

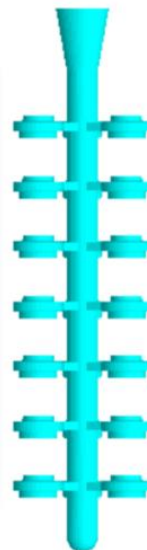
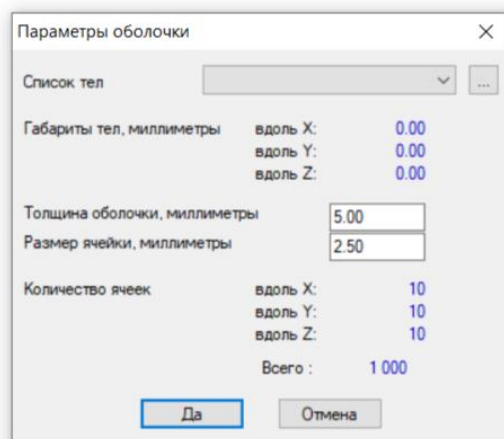


Рис. 13 Добавление оболочки

Получили следующую оболочку:

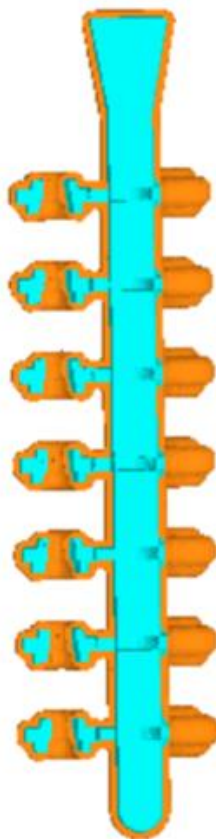


Рис. 14 Оболочка

Зададим параметры для сетки: размеры ячейки и рабочей области

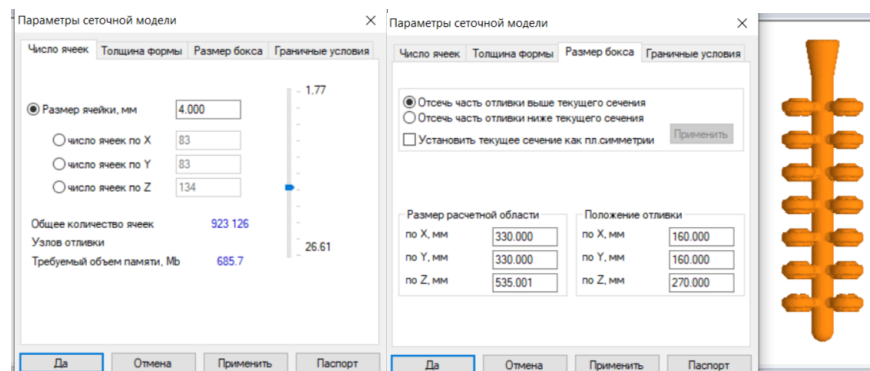


Рис. 15 Создание сетки

Далее установим материалы для частей отливок, оболочки и формы, и их начальную температуру, укажем литниковую точку (место подвода металла) и укажем время заливки 6 с.

Названия тел	Тип материала	Начальная температура, ...
☒ Отливка		
☒ Mold - Ceramic	Материал формы	900.000
☒ 20GSL	Сплав	1580.000
☒ Прочее		
☐ Mold - Silica Sand	Материал формы	900.000
☒ Air - In mold	Среда полости	20.000

Рис. 16 Назначение материалов и их начальных температур

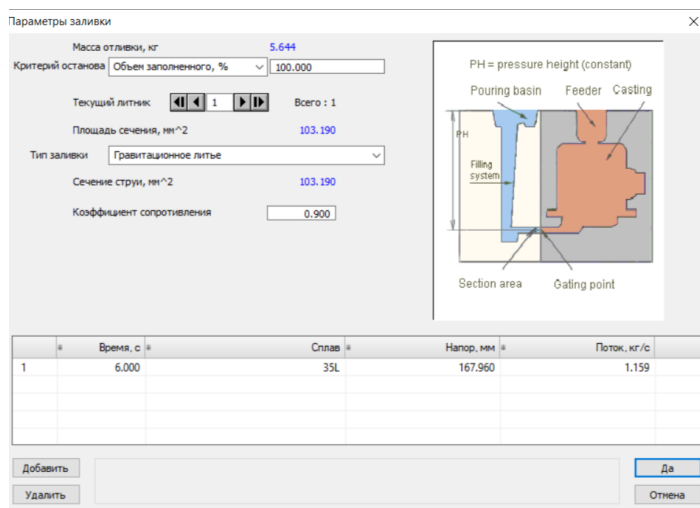


Рис. 17 Задание параметров заливки

Производим процесс моделирования для получения точных данных о дефектах, времени заполнения и затвердевания.

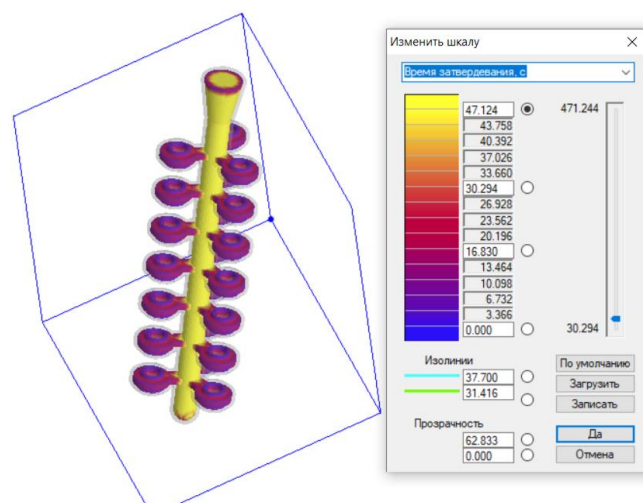


Рис. 18 Время затвердевания

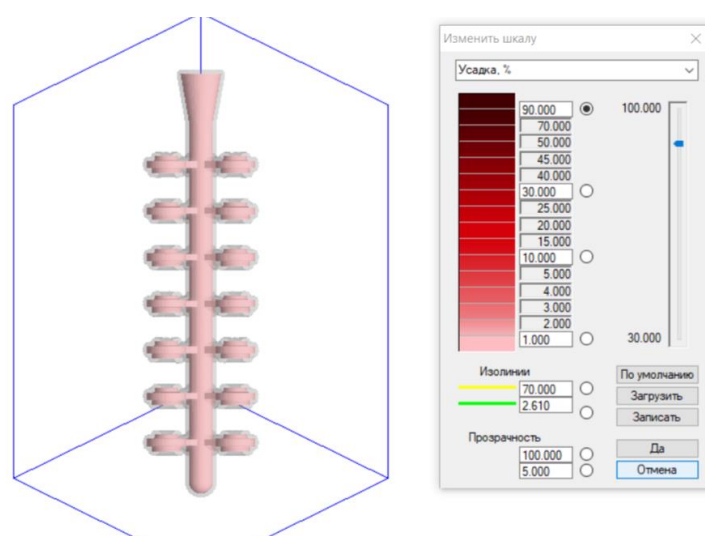


Рис. 19 Усадка

По результатам компьютерного моделирования литейного процесса было установлено, что существует вероятность возникновения усадочных дефектов в отливке на уровне до 2%. Данный факт необходимо учитывать при окончательной корректировке конструкции литниково-питающей системы и оптимизации технологических параметров литья.

Выявленная по итогам моделирования возможность появления усадочных дефектов в определенной степени обусловлена упрощениями, принятыми на этапе проектирования литейной технологии. Как было отмечено ранее, ввиду учебного характера работы, ряд конструктивных особенностей, влияющих на качество отливки, не учитывался в полной мере.

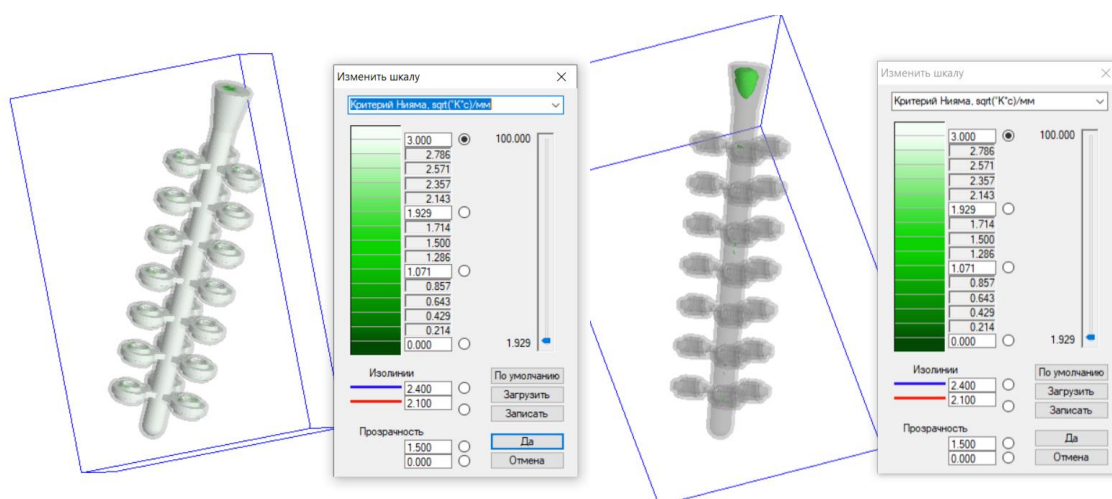


Рис. 20 Критерий Ниямы

Для оценки микропористости отливки применялся критерий Ниямы. Согласно нормативным требованиям, значение данного критерия должно быть не менее 0,85. По результатам проведенного анализа, значения критерия Ниямы находились в диапазоне от 1,02 до 1,741, что расценивается как отличные показатели.

Использование критерия Ниямы для анализа микропористости отливки позволило получить объективную картину качества литого изделия. Значения критерия, превышающие нормативный порог, свидетельствуют об эффективности принятых технологических решений и их соответствии требованиям к готовой продукции.

Полученные высокие показатели критерия Ниямы подтверждают, что проектируемый литейный процесс обеспечивает формирование отливки с минимальным уровнем микропористости. Это является важным фактором, определяющим эксплуатационные характеристики и надежность изготавливаемой детали.

Таким образом, анализ критерия Ниямы позволил всесторонне оценить качество литой заготовки и подтвердить эффективность разработанной технологии литейного производства.

2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Разработка технологического процесса обработки детали «Крышка»

Технологический процесс представляет собой поэтапное описание процедуры получения готового изделия путем удаления материала механическим способом. Данный процесс разрабатывается в виде технологического маршрута, который определяет последовательность и содержание всех необходимых операций.

Технологический маршрут может включать в себя различные виды механической обработки, такие как фрезерование, токарная обработка, сверление, шлифование и другие. Каждый этап маршрута подробно описывает применяемое оборудование, режимы обработки, используемые инструменты и приспособления, а также необходимые контрольные операции. Тщательная проработка технологического процесса позволяет обеспечить высокое качество и точность изготовления деталей.

2.1.1 Определение количества ступеней обработки основных поверхностей

План обработки поверхности – это последовательная совокупность методов обработки каждого элемента поверхности, обеспечивающая достижения заданной точности и качества поверхностного слоя.

Количество ступеней обработки можно определить через коэффициент уточнения КΣ. Данный коэффициент зависит от допуска размера поверхности заготовки и допуска размера поверхности детали.

Рассмотрим обработку основных поверхностей детали.

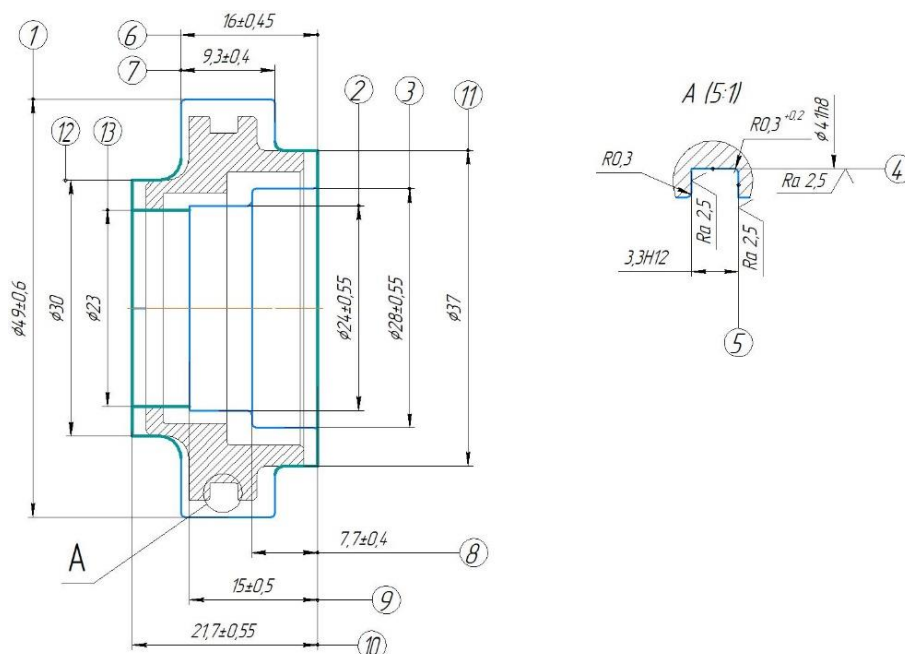


Рис. 21 Обозначение ступеней обработки основных поверхностей

Количество ступеней обработки анализируемой поверхности можно определить через коэффициент уточнения, определяемый как отношение допуска размера этой поверхности на заготовке к допуску размера на детали:

$$K_{\Sigma} = T_{\text{заг}}/T_{\text{дет}}$$

Таблица 10 – Расчет ступеней обработки

№	Наименование поверхности	$T_{\text{заг}}, \text{мм}$	$T_{\text{дет}}, \text{мм}$	K_{Σ}	n_r
1	Цилиндрическая внутренняя	1,2	0,016	75	$3,07 \approx 4$
2	Цилиндрическая внутренняя	1,1	0,052	21,15	$3,57 \approx 4$
3	Цилиндрическая внутренняя	1,1	0,025	44	$2,88 \approx 3$
4	Внутренняя поверхность канавки	0,3	0,039	7,6	$1,92 \approx 2$
5	Боковые поверхности канавки	0,3	0,12	2,5	$0,86 \approx 1$
6	Боковая поверхность	0,9	0,1	9	$2,07 \approx 3$
7	Боковая поверхность	0,8	0,1	8	$1,96 \approx 2$
8	Цилиндрическая внутренняя	0,8	0,1	8	$1,96 \approx 2$
9	Цилиндрическая внутренняя	0,5	0,1	5	$1,51 \approx 2$
10	Торцевая поверхность	1,1	0,21	5,23	$1,56 \approx 2$

Таблица 11 – Сводная таблица ступеней обработки

№ размера	Класс точности	Шероховатость	Ступени обработки
1	h6	Ra 2,5	Черновая; Чистовая; Тонкая
2	H9	Ra 1,25	Черновая; Чистовая
3	H7	Ra 1,25	Черновая; Чистовая;
4	h8	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
5	H12	Ra 2,5	Черновая;
6	12	Ra 2,5	Черновая
7,8	9	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
9	9	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
10	12	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
11,12,13	14	Ra 6,3	-

2.1.2 Формирование укрупненного плана технологического процесса

Разработка укрупненного вида технологического процесса производится по стандартному плану, представляющему собой базовый вариант технологического процесса. Данный план включает в себя следующие основные этапы:

1. Черновой этап. Этот этап обеспечивает удаление поверхностных дефектов с заготовки, уменьшение припусков на последующую обработку. Он характеризуется высокой производительностью оборудования, но относительно невысокой точностью.

2. Чистовой этап. Данный этап обеспечивает минимальные припуски для окончательных операций и предполагает использование более точного оборудования.

3. Окончательный этап. На этом этапе обеспечивается необходимая точность и качество поверхностного слоя детали в соответствии с конструкторской документацией.

4. Отделочный этап. Он обеспечивает требуемое качество поверхностного слоя, которое невозможно достичь на окончательном этапе.

Укрупненный план технологического процесса также включает в себя следующие этапы:

1. Заготовительный этап (изготовление заготовки).
2. Термообработка (для улучшения обрабатываемости и снятия остаточных напряжений).
3. Черновая обработка (предварительная обработка комплекса основных поверхностей).
4. Термообработка (для достижения требуемых свойств сердцевины).
5. Чистовая обработка (обработка поверхностей с повышенными требованиями к точности).
6. Термообработка (для обеспечения требуемых свойств поверхностного слоя).
7. Окончательная обработка (обработка особо точных поверхностей и нанесение покрытий).
8. Контроль готового изделия.

Такая детальная проработка технологического процесса позволяет обеспечить высокое качество и точность изготовления деталей.

Таблица 12 – Маршрутное описание технологического процесса детали «Крышка»

№ п/п	Наименование операции	Оборудование
Оп. 000	Заготовительная	ЛБМ
Оп.005	Термическая	Термопечь

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Оп.010	Токарная черновая с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ
Оп.015	Токарная чистовая с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ
Оп.020	Контрольная	КИМ

2.1.3 Установление последовательности обработки поверхностей, выбор измерительных и технологических баз

При выборе технологических баз на всех операциях рекомендуется отдавать предпочтение поверхностям правильной геометрической формы, таким как плоскости, цилиндры, конусы и др. Важно, чтобы эти поверхности имели максимально возможную протяженность. При этом необходимо учитывать жесткость заготовки в направлениях приложения сил закрепления и сил резания.

На каждом этапе обработки первыми обрабатываются поверхности, которые впоследствии будут использоваться в качестве технологических баз. На предварительном (черновом) этапе основной задачей является максимальное удаление металла за минимальное время при сохранении приемлемой точности.

Для обеспечения правильного взаимного расположения системы обработанных и необработанных поверхностей детали на предварительном этапе целесообразно выбирать в качестве технологических баз поверхности, которые остаются необработанными. Это позволит сохранить геометрическую связь между различными частями детали.

Особый подход к выбору технологических баз на каждом этапе обработки является важным фактором, влияющим на качество и точность изготовления деталей. Правильно подобранные базирующие поверхности обеспечивают стабильное положение заготовки в процессе обработки и, как следствие, высокую размерную точность получаемых деталей. В 10-ой операции заготовка устанавливается в трехкулачковый патрон с короткими кулачками, чтобы зафиксировать длинную часть заготовки. В качестве технологической базы используем поверхность заготовки, которая остается необработанной в детали. Таким образом, легче будет обработать оставшуюся

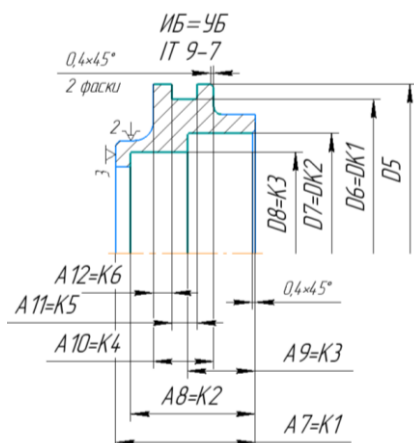
Оп 010 Токарная черновая

Уст.1 Шпильдель
ИБ=УБ
IT 12-10 квалитет

Уст.2 Протившпильдель
ИБ=УБ
IT 12-10 квалитет

Technical drawing of a stepped shaft (Op 010) showing two views: front and side. The drawing includes dimensions for diameters (D1, D2, D3, D4) and lengths (A1, A2, A3, A4, A5, A6). The side view shows a 0.6x45° chamfer and a 2x45° fillet. The drawing is labeled "Оп 010 Токарная черновая" and includes specifications for the first and second steps.

Затем на операции 015 заготовка устанавливается в трехкулачковый патрон. Производится чистовая обработка на станке ЧПУ.



2.1.4 Составление эскиза совмещённых переходов и осевых размерных цепей

Процесс построения эскиза совмещенных переходов начинается с нанесения на поле чертежа изображения исходной заготовки. На этом эскизе

указываются условные обозначения начальных размеров Н1, Н2 и Н3 (рис. 15). Размещение данной информации над эскизом заготовки позволяет наглядно отразить исходные параметры, с которых начинается технологический процесс.

По мере перехода к следующим этапам обработки, на эскизе последовательно отображаются промежуточные состояния детали, показывающие изменения ее формы и размеров в ходе технологических операций. Таким образом, эскиз совмещенных переходов служит наглядным графическим представлением всего технологического маршрута изготовления изделия.

Тщательная проработка и визуализация технологического процесса посредством эскизов совмещенных переходов способствует более эффективному планированию и организации производства, позволяя своевременно выявлять и устранять возможные технологические сложности.

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 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

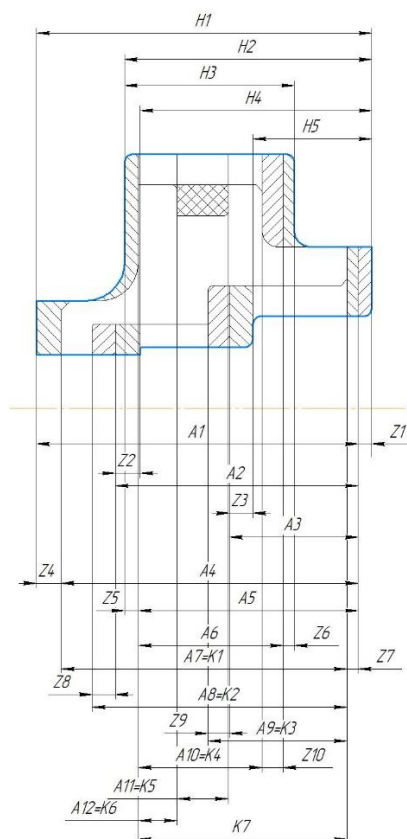


Рис. 24 Эскиз совмещенных переходов осевых размеров.

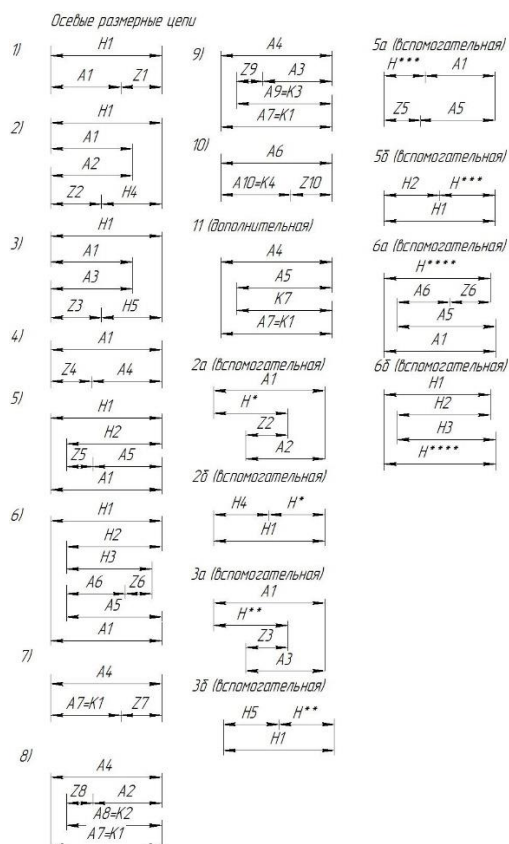


Рис. 25 Осевые размерные цепи.

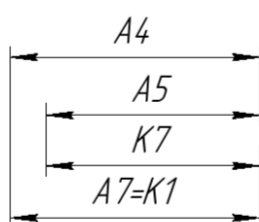
После построения всех размерных цепей составляется таблица, в которой определяется порядок решения цепей, где расчет начинается с последних цепей и заканчивается определением начальных размеров.

№	№ цепи	Замыкающее звено	Определяемые размеры
1	11	K7	TA4, TA5
2	7	z7	A4
3	11	K7	A5
4	4	z4	A1
5	8	z8	A2
6	9	z9	A3
7	10	z10	A6
8	1	z1	H1
9	2a	z2	H*
10	2δ	-	H4
11	3a	z3	H**
12	3δ	-	H5
13	5a	z5	H***
14	5δ	-	H2
15	6a	z6	H****
16	6δ	-	H3

Рис. 26 Порядок решения размерных цепей.

2.1.5 Расчет осевых размерных цепей

1. Размерная цепь №11 (дополнительная):



Известно: $A7=K1=18,5\pm0,1\text{ мм}$;

$K7=13,5^{+0,1}\text{ мм}$

Найти: TA4; TA5

Замыкающее звено: K7

Используем вероятностный метод:

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

$$T_{K7} \geq \sqrt{TA4^2 + TA5^2 + TA7^2}$$

Допуск на размер A5 и A4 примем по средней экономической точности IT10.

$$TA4=0,084\text{ мм}$$

$$TA5=0,058\text{мм}$$

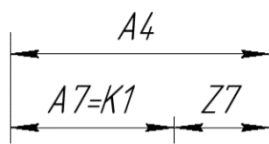
$$0,1 \geq \sqrt{0,084^2 + 0,058^2 + 0,2^2}$$

Данное неравенство неверно, ужесточим допуск на конструкторский размер А7, примем допуск по средней экономической точности методов обработки, IT9.

$$TA7=0,021$$

$$0,1 \geq \sqrt{0,084^2 + 0,058^2 + 0,021^2} - \text{верно}$$

2. Размерная цепь №7:



Известно: $A7=K1=18,5 \pm 0,1\text{мм}$;

Найти: $TA4$; $A4$

Замыкающее звено: $z7$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{7max} = z_{7min} + \sqrt{TA4^2 + TA7^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер А4 примем по средней экономической точности IT10.

$$TA4=0,084\text{мм}$$

$Z7min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z7min=0,6-0,21=0,39\text{мм}$

$$z_{7max} = 0,39 + \sqrt{0,084^2 + 0,2^2} = 0,606924\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{7cp} = \frac{z_{7max} + z_{7min}}{2} = \frac{0,606924 + 0,39}{2} = 0,49812\text{мм}$$

Следовательно, получаем:

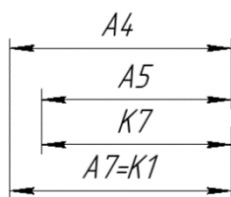
$$z_{7cp} = A4_{cp} - A7_{cp}$$

$$A4_{cp} = A7_{cp} + z_{7cp} = 18,5 + 0,49812 = 18,9812\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A4 = 19js10(\pm 0,042)\text{мм}$$

3. Размерная цепь №11 (дополнительная)



Известно: $A7=K1=18,5\pm0,1\text{мм}$;

$K7=13,5^{+0,1}\text{мм}$

Найти: $TA5$; $A5$

Замыкающее звено: $K7$

Найдем номинальный размер:

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

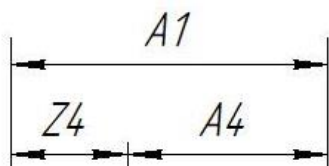
Следовательно, получаем: $K7 = A5 + A7 - A4$

$$A5 = K7 - A7 + A4 = 13,5 - 18,5 + 19 = 14\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A5 = 14js10(\pm0,029)\text{мм}$$

4. Размерная цепь №4:



Известно: $A4=19js10(\pm0,042)\text{мм}$;

Найти: $TA1$; $A1$

Замыкающее звено: $z4$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{4max} = z_{4min} + \sqrt{TA4^2 + TA1^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер $A1$ примем по средней экономической точности IT12.

$$TA1=0,21\text{мм}$$

$Z4min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z4min=1,0-0,21=0,79\text{мм}$

$$z_{4max} = 0,79 + \sqrt{0,21^2 + 0,2^2} = 1,08\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{4cp} = \frac{z_{4max} + z_{4min}}{2} = \frac{1,08 + 0,79}{2} = 0,935\text{мм}$$

Следовательно, получаем: $z_{4cp} = A1_{cp} - A4_{cp}$

$$A1_{cp} = A4_{cp} + z_{4cp} = 19,5 + 0,935 = 19,935\text{мм}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

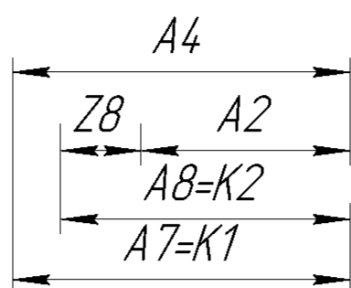
Лист

56

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A1 = 20js12(\pm 0.105)\text{мм}$$

5. Размерная цепь №8:



Известно: $A4 = 19js10(\pm 0.042)\text{мм}$;

$A8 = K2 = 16,5 \pm 0,2\text{мм}$;

$A7 = K1 = 18,5 \pm 0,0105\text{мм}$.

Найти: $TA2$; $A2$

Замыкающее звено: $z8$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{8max} = z_{8min} + \sqrt{TA4^2 + TA2^2 + TA8^2 + TA7^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер $A2$ примем по средней экономической точности IT12.

$$TA2 = 0,18\text{мм}$$

$Z8min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z8min = 1,0 - 0,18 = 0,82\text{мм}$

$$z_{8max} = 0,82 + \sqrt{0,084^2 + 0,18^2 + 0,4^2 + 0,0105^2} = 1,26673$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{8cp} = \frac{z_{8max} + z_{8min}}{2} = \frac{1,26673 + 0,82}{2} = 1,043365\text{мм}$$

Следовательно, получаем: $z_{8cp} = A8_{cp} + A4_{cp} - A7_{cp} - A2_{cp}$

$$\begin{aligned} A2 &= A8_{cp} + A4_{cp} - A7_{cp} - z_{8cp} = 16,5 + 19 - 18,5 - 1,043365 \\ &= 15,956635\text{мм} \end{aligned}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A2 = 16JS12(\pm 0.09)\text{мм}$$

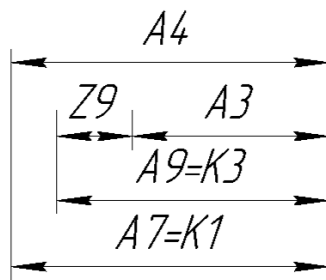
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

57

6. Размерная цепь №9:



Известно: $A4 = 19 \text{js}10 (\pm 0.042) \text{мм}$;

$A9 = K3 = 9 \pm 0,1 \text{мм}$;

$A7 = K1 = 18,5 \pm 0,0105 \text{мм}$.

Найти: $TA3$; $A3$

Замыкающее звено: $z9$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{9max} = z_{9min} + \sqrt{TA4^2 + TA3^2 + TA9^2 + TA7^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер $A3$ примем по средней экономической точности IT12.

$TA3 = 0,15 \text{мм}$

$Z9min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z8min = 1,0 - 0,15 = 0,85 \text{мм}$

$$z_{9max} = 0,85 + \sqrt{0,084^2 + 0,15^2 + 0,2^2 + 0,0105^2} = 1,11394 \text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{9cp} = \frac{z_{9max} + z_{9min}}{2} = \frac{1,11394 + 0,85}{2} = 0,98197 \text{мм}$$

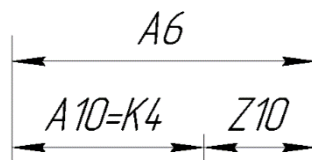
Следовательно, получаем: $z_{9cp} = A9_{cp} + A4_{cp} - A7_{cp} - A3_{cp}$

$$A3_{cpc} = A9_{cp} + A4_{cp} - A7_{cp} - z_{9cp} = 9 + 19 - 18,5 - 0,98197 = 8,51803 \text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A3 = 8,6 \text{JS}12 (\pm 0.075) \text{мм}$$

7. Размерная цепь №10:



Известно: $A10 = K4 = 8^{(0}_{-0,1)}$

Найти: $TA6$; $A6$

Замыкающее звено: $z10$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{10max} = z_{10min} + \sqrt{TA6^2 + TA10^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер А6 примем по средней экономической точности IT10.

$$TA6=0,058\text{мм}$$

Z10min примем по ОСТ 1.41512-86, Z10min=0,6-0,15=0,45мм

$$z_{10\text{max}} = 0,45 + \sqrt{0,058^2 + 0,1^2} = 0,565603\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{10\text{cp}} = \frac{z_{10\text{max}} + z_{10\text{min}}}{2} = \frac{0,565603 + 0,45}{2} = 0,5078015\text{мм}$$

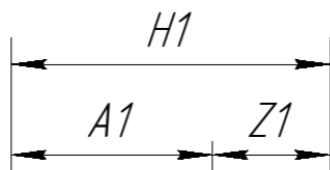
Следовательно, получаем: $z_{10\text{cp}} = A6_{\text{cp}} - A10_{\text{cp}}$

$$A6_{\text{cp}} = A10_{\text{cp}} + z_{10\text{cp}} = 7,9 + 0,5078015 = 8,4078015\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A6 = 8,5\text{js}10(\pm 0,029)\text{мм}$$

8. Размерная цепь №1:



Известно: $A1=20\text{js}12(\pm 0,105)\text{мм}$

Найти: TH1; H1

Замыкающее звено: z1

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{1\text{max}} = z_{1\text{min}} + \sqrt{TH1^2 + TA1^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

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

$$TH1=1,1 \text{ мм}$$

Z1min примем по ОСТ 1.41512-86, Z1min=1,0-0,21=0,79мм

$$z_{1\text{max}} = 0,79 + \sqrt{1,1^2 + 0,21^2} = 1,90987\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{1\text{cp}} = \frac{z_{1\text{max}} + z_{1\text{min}}}{2} = \frac{1,90987 + 0,79}{2} = 1,349935\text{мм}$$

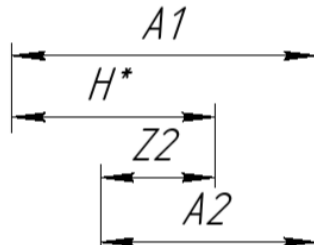
Следовательно, получаем: $z_{1cp} = H_{1cp} - A_{1cp}$

$$H_{1cp} = A_{1cp} + z_{1cp} = 20 + 1,349935 = 21,3499355 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H_1 = 21,4(\pm 0,55) \text{ мм}$$

9. Размерная цепь №2а (вспомогательная):



Известно: $A_1 = 20js12(\pm 0,105) \text{ мм}$

$A_2 = 16js12(\pm 0,09) \text{ мм}$

Найти: H^*

Замыкающее звено: z_2

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{2max} = z_{2min} + \sqrt{TH^{*2} + TA_1^2 + TA_2^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

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_{2min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{2min} = 1,1 - 0,18 = 0,82 \text{ мм}$

$$z_{2max} = 0,82 + \sqrt{1,4^2 + 0,21^2 + 0,18^2} = 2,24706 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{2cp} = \frac{z_{2max} + z_{2min}}{2} = \frac{2,24706 + 0,82}{2} = 1,53353 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем: $z_{2cp} = A_{2cp} + H^*_{cp} - A_{1cp}$

$$H^*_{cp} = A_{1cp} - A_{2cp} + z_{2cp} = 20 - 16 + 1,53353 = 5,53353 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^* = 5,6(\pm 0,7) \text{ мм}$$

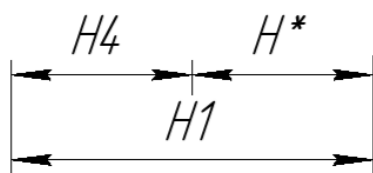
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

60

10. Размерная цепь №2б (вспомогательная):



Известно: $H^* = 5,6(\pm 0,7)\text{мм}$

$H1 = 21,4(\pm 0,55)\text{мм}$

Найти: $H4$

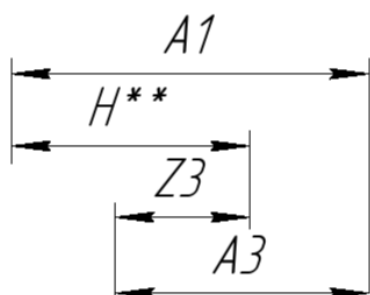
$H1 = H4 + H^*$

$$H4 = H1 - H^* = 21,4 - 5,6 = 15,8\text{мм}$$

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

$$H4 = 15,8(\pm 0,5)\text{мм}$$

11. Размерная цепь №3а (вспомогательная):



Известно: $A1 = 20js12(\pm 0.105)\text{мм}$

$A3 = 8,6js12(\pm 0.075)\text{мм}$

Найти: H^{**}

Замыкающее звено: $Z3$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{3max} = Z_{3min} + \sqrt{TH^{**2} + TA1^2 + TA3^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

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

$$TH^{**} = 1,4\text{ мм}$$

$$Z3min \text{ примем по ОСТ 1.41512-86, } Z3min = 1,0 - 0,18 = 0,82\text{мм}$$

$$Z3max = 0,82 + \sqrt{1,4^2 + 0,21^2 + 0,15^2} = 2,24359\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z3cp = \frac{Z3max + Z3min}{2} = \frac{2,24359 + 0,82}{2} = 1,531795$$

$$\text{Следовательно, получаем: } Z3cp = A3cp + H^{**}cp - A1cp$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

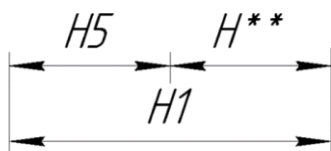
61

$$H_{cp}^{**} = A1_{cp} - A3_{cp} + z3_{cp} = 20 - 8,6 + 1,531795 = 12,931795 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{**} = 13(\pm 0,7) \text{ мм}$$

12. Размерная цепь №3б (вспомогательная):



Известно: $H^{**} = 13(\pm 0,7) \text{ мм}$

$H1 = 21,4(\pm 0,5) \text{ мм}$

Найти: $H5$

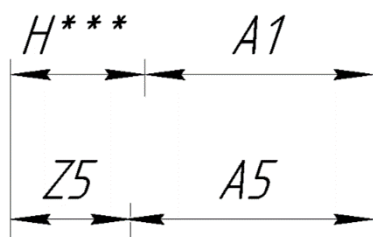
$$H1 = H5 + H^{**}$$

$$H5 = H1 - H^{**} = 21,4 - 13 = 8,4 \text{ мм}$$

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

$$H5 = 8,4(\pm 0,4) \text{ мм}$$

13. Размерная цепь №5а (вспомогательная):



Известно: $A1 = 20js12(\pm 0,105) \text{ мм}$

$A5 = 14js10(\pm 0,042)$

Найти: H^{***}

Замыкающее звено: $z5$

Найдем максимальный припуск:

$$Z5_{max} = z5_{min} + \sqrt{TH^{***2} + TA1^2 + TA5^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

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

$$TH^{***} = 1,4 \text{ мм}$$

$Z5_{min}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z5_{min} = 0,7 - 0,18 = 0,52 \text{ мм}$

$$z5_{max} = 0,52 + \sqrt{1,4^2 + 0,21^2 + 0,042^2} = 1,93629 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{5cp} = \frac{z_{5max} + z_{5min}}{2} = \frac{1,93629 + 0,52}{2} = 1,228145$$

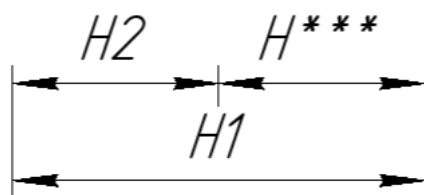
Следовательно, получаем: $z_{5cp} = A5_{cp} + H^{***}_{cp} - A1_{cp}$

$$H^{***}_{cp} = A1_{cp} - A5_{cp} + z_{5cp} = 20 - 14 - 1,228145 = 4,771855 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{***} = 4,8(\pm 0,7) \text{ мм}$$

14. Размерная цепь №5б (вспомогательная):



Известно: $H^{***} = 4,8js14(\pm 0,7) \text{ мм}$

$$H1 = 21,4(\pm 0,55) \text{ мм}$$

Найти: $H2$

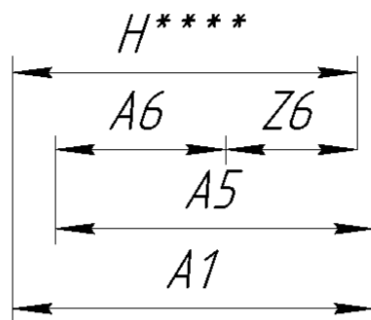
$$H1 = H2 + H^{***}$$

$$H2 = H1 - H^{***} = 21,4 - 4,8 = 16,6 \text{ мм}$$

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

$$H2 = 16,1(\pm 0,45) \text{ мм}$$

15. Размерная цепь №6а (вспомогательная):



Известно: $A1 = 20js12(\pm 0,105) \text{ мм}$

$$A5 = 14js10(\pm 0,042)$$

$$A6 = 8,5js10(\pm 0,029) \text{ мм}$$

Найти: H^{****}

Замыкающее звено: $z6$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{6max} = z_{6min} + \sqrt{TH^{****2} + TA1^2 + TA5^2 + TA6^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

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_{6min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{6min}=0,6-0,15=0,45\text{мм}$

$$Z_{6max} = 0,45 + \sqrt{1,4^2 + 0,21^2 + 0,0105^2 + 0,058^2} = 1,86689\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z_{6cp} = \frac{Z_{6max} + Z_{6min}}{2} = \frac{1,86689 + 0,45}{2} = 1,158445$$

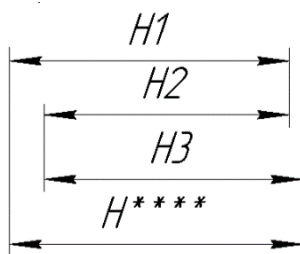
Следовательно, получаем: $z_{6cp} = A_{6cp} + A_{1cp} - H^{****}_{cp} - A_{5cp}$

$$\begin{aligned} H^{****} &= A_{6cp} + A_{1cp} - A_{5cp} - z_{6cp} = 8,5 + 20 - 14 - 1,158445 \\ &= 13,34155\text{мм} \end{aligned}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{****} = 13,4(\pm 0,7)\text{мм}$$

16. Размерная цепь №66 (вспомогательная):



Известно: $H^{****} = 13,4js14(\pm 0,45)\text{мм}$

$$H1 = 21,4(\pm 0,55)\text{мм}$$

$$H2 = 16,6(\pm 0,45)\text{мм}$$

Найти: $H3$

$$H3 = H2 + H^{****} - H1 = 16,6 + 13,4 - 21,4 = 8,6\text{мм}$$

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

$$H3 = 8,7(\pm 0,4)\text{мм}$$

Таблица 13 – Осевые операционные размеры и припуски

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Z_{min}	Z_{max}	Z_{cp}	Метод расчета припуска
$A_{12}=K_6$	$A_{12}=K_6=2,5(\pm 0,1)\text{ мм}$	Получается за счет напуска			
$A_{11}=K_5$	$A_{11}=K_5=3,3^{(0,12)}\text{ мм}$	Получается за счет напуска			
$A_{10}=K_4$	$A_{10}=K_4=8_{(-0,1)}\text{мм}$	0,45	0,56	0,51	вероятностный
$A_9=K_3$	$A_9=K_3=9(\pm 0,1)\text{ мм}$	0,85	1,11	0,98	вероятностный
$A_8=K_2$	$A_8=K_2=16,5(\pm 0,2)\text{ мм}$	0,82	1,26	1,04	вероятностный
$A_7=K_1$	$A_7=K_1=18,5(\pm 0,0105)\text{м}$ м	0,39	0,60 6	0,498	вероятностный

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

64

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

A6	$A6=8,5js10(\pm 0,029)\text{мм}$	0,45	1,86	1,15	вероятностный
A5	$A5=14js10(\pm 0,029)\text{мм}$	0,52	1,93	1,22	вероятностный
A4	$A4=19js10(\pm 0,042)\text{мм}$	0,79	1,08	0,935	вероятностный
A3	$A3=8,6JS12(\pm 0,075)\text{мм}$	0,82	2,24	1,53	вероятностный
A2	$A2=16JS12(\pm 0,09)\text{мм}$	0,82	2,24	1,53	вероятностный
A1	$A1=20js12(\pm 0,105)\text{мм}$	0,79	1,90 9	1,35	вероятностный
H5	$H5 = 8,4(\pm 0,4)\text{мм}$	-	-	-	-
H4	$H4 = 15,8(\pm 0,5)\text{мм}$	-	-	-	-
H3	$H3 = 8,7(\pm 0,4)\text{мм}$	-	-	-	-
H2	$H2 = 16,6(\pm 0,45)\text{мм}$	-	-	-	-
H1	$H1 = 21,4(\pm 0,55)\text{мм}$	-	-	-	-

2.1.6 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
$K1=18,5(\pm 0,0105)\text{мм}$	Непосредственно чистовым подрезанием торца $A7 = K1_{\text{ср}} = 18,4895 \pm 0,0105$	В пределах экономической точности чистовой обработки по 9 качеству (ТА7=0,021). $A7=18,5(\pm 0,0105)\text{мм}$ – внутриоперационный размер
$K2=16,5(\pm 0,2)\text{ мм}$	Непосредственно чистовым точением $A8=K2$	$A8=K2=16,5(\pm 0,2)\text{ мм}$ – межоперационный размер
$K3=9(\pm 0,1)\text{ мм}$	Непосредственно чистовым точением $A9=K3$	$A9=K3=9(\pm 0,1)\text{ мм}$ – межоперационный размер
$K4=8(-0,1)\text{мм}$	Непосредственно чистовым подрезанием торца $A10 = K4_{\text{ср}} = 7,95 \pm 0,05$	$A10=K4=8(-0,1)\text{мм}$ – межоперационный размер

$K5=3,3(^{0,12})\text{ мм}$	Непосредственно чистовым подрезанием торца $K5_{\text{ср}} = 3,36 \pm 0,06$	$K5=3,3(^{0,12})\text{ мм}$ – внутриоперационный размер
$K6=2,5(\pm 0,1)\text{ мм}$	Непосредственно чистовым подрезанием торца $K6_{\text{ср}} = 2,4 \pm 0,1$	$K6=2,5(\pm 0,1)\text{ мм}$ – внутриоперационный размер
$K7=13,5(^{+0,1})\text{ мм}$	Как замыкающее звено размерной цепи №11 (вероятностный метод) $T_{K7} \geq \sqrt{TA4^2 + TA5^2 + TA7^2}$	Межоперационный $TA4(IT10)=0,084\text{ мм}$, $TA7(IT9)=0,021\text{ мм}$, Внутриоперационный $TA5(IT10)=0,058\text{ мм}$ Цепь №11 $\sum TK7=0,1$ (запас точности 1%)

В ходе решения размерных цепей были уточнены некоторые размеры и их допуски. Для повышения технологичности рассматриваемой детали были внесены изменения в ступени обработки и переопределены технологические операции.

В результате был разработан оптимальный план обработки, обеспечивающий следующие преимущества:

1. Минимальный операционный припуск. Тщательный расчет и распределение припусков между операциями позволил свести их к минимально необходимым значениям.

2. Минимальное количество обрабатываемых поверхностей, переходов и проходов в каждой операции. Это позволило повысить производительность обработки и сократить трудоемкость.

3. Обеспечение размеров, заданных конструктором. Новый технологический процесс обеспечивает точное соответствие конструкторским требованиям, включая совпадение межоперационных и внутриоперационных размеров.

4. Получение операционных размеров, входящих в пределы средней экономической точности. Это гарантирует достижение требуемого качества обработки при оптимальных затратах.

Таким образом, в результате доработки технологического процесса был разработан оптимальный план обработки, обеспечивающий высокую

технологичность изготовления детали при наилучших технико-экономических показателях.

2.1.7 Составление эскиза совмещённых переходов, выявление и построение диаметральных размерных цепей

Размерная схема (ЭСП) диаметральных размеров составляется в соответствии с последовательностью технологического процесса, то есть в порядке выполнения операций и переходов.

Построение размерной схемы начинается с исходной заготовки и продолжается по мере обработки детали, отображая изменения диаметральных размеров на каждом этапе. Таким образом, ЭСП диаметральных размеров наглядно отображает всю цепочку технологических воздействий, которым подвергается деталь.

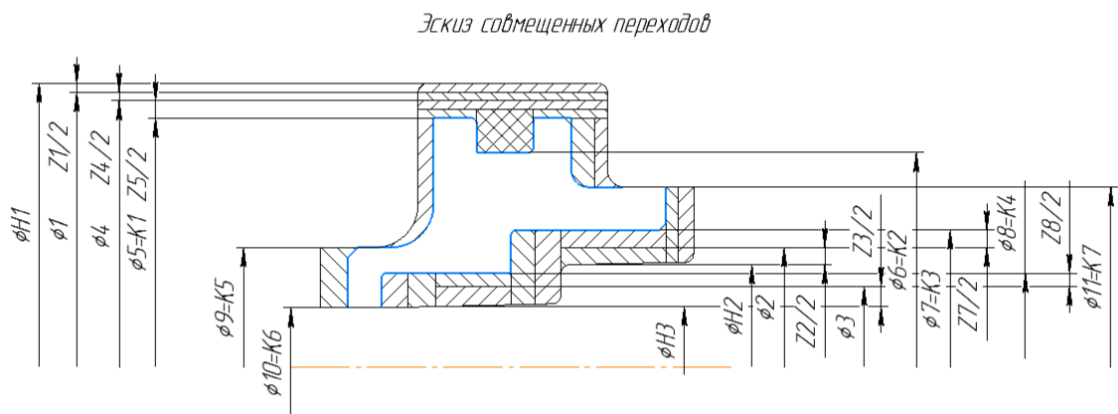


Рис. 27 Эскиз совмещённых переходов диаметральных размеров

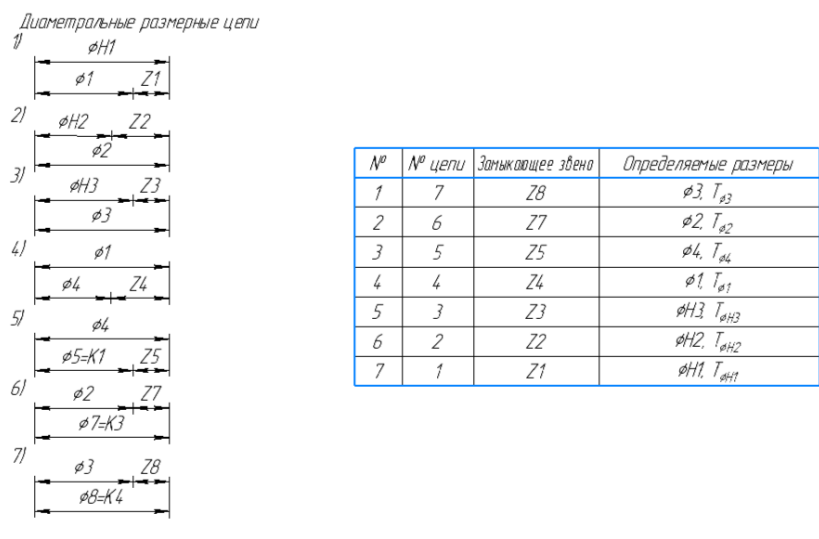
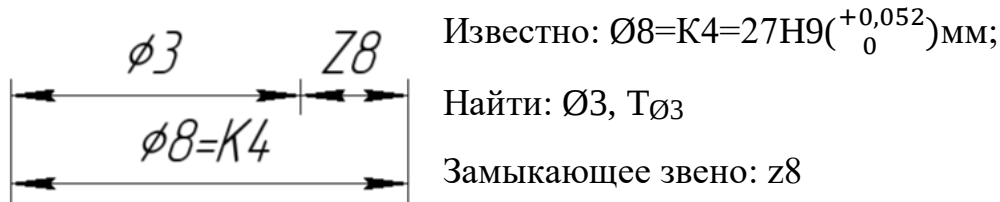


Рис. 28 Диаметральные размерные цепи и порядок их решения

2.1.8 Решение диаметральных размерных цепей

1. Размерная цепь №7:



Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{8\text{max}} = z_{8\text{min}} + \sqrt{T_{\text{Ø}3}^2 + T_{\text{Ø}8}^2}$$

Допуск на размер $\text{Ø}3$ примем по средней экономической точности IT11.

$$T_{\text{Ø}3}=0,13\text{мм}$$

$Z_{8\text{min}}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{8\text{min}}=0,93\text{мм}$

$$z_{8\text{max}} = 0,93 + \sqrt{0,13^2 + 0,052^2} = 1,07001\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{8\text{cp}} = \frac{z_{8\text{max}} + z_{8\text{min}}}{2} = \frac{1,07001 + 0,93}{2} = 1,000005\text{мм}$$

Следовательно, получаем:

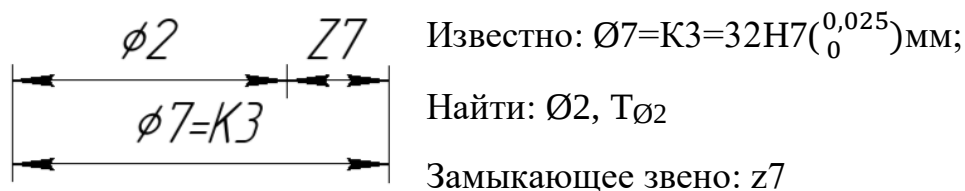
$$z_{8\text{cp}} = \text{Ø}8_{\text{cp}} - \text{Ø}3_{\text{cp}}$$

$$\text{Ø}3_{\text{cp}} = \text{Ø}8_{\text{cp}} - z_{8\text{cp}} = 27,052 - 1,000005 = 26,051995\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\text{Ø}3 = 26,1js11(\pm 0,065)\text{мм}$$

2. Размерная цепь №6:



Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{7\text{max}} = z_{7\text{min}} + \sqrt{T\phi 2^2 + T\phi 7^2}$$

Допуск на размер $\phi 2$ примем по средней экономической точности IT11.

$$T_{\phi 2} = 0,13 \text{ мм}$$

$Z_{7\text{min}}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{7\text{min}} = 0,93 \text{ мм}$

$$z_{7\text{max}} = 0,93 + \sqrt{0,13^2 + 0,025^2} = 1,06238 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{7\text{cp}} = \frac{z_{7\text{max}} + z_{7\text{min}}}{2} = \frac{1,06238 + 0,93}{2} = 0,99619 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

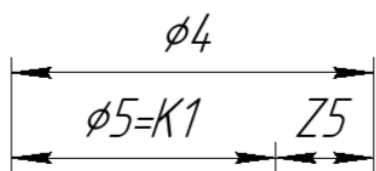
$$z_{7\text{cp}} = \phi 7_{\text{cp}} - \phi 2_{\text{cp}}$$

$$\phi 2_{\text{cp}} = \phi 7_{\text{cp}} - z_{7\text{cp}} = 32,025 - 0,99619 = 31,02881 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi 2 = 31,1 \text{ js11} (\pm 0,065) \text{ мм}$$

3. Размерная цепь №5:



Известно: $\phi 5 = K1 = 45h6_{-0.016} \text{ мм}$

Найти: $\phi 4$, $T_{\phi 4}$

Замыкающее звено: $z5$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{5\text{max}} = z_{5\text{min}} + \sqrt{T\phi 5^2 + T\phi 4^2}$$

Допуск на размер $\phi 4$ примем по средней экономической точности IT11.

$$T_{\phi 2} = 0,16 \text{ мм}$$

$Z_{5\text{min}}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{5\text{min}} = 1,16 \text{ мм}$

$$z_{5\text{max}} = 1,16 + \sqrt{0,16^2 + 0,062^2} = 1,33159 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{5cp} = \frac{z_{5max} + z_{5min}}{2} = \frac{1,33159 + 1,16}{2} = 1,245795\text{мм}$$

Следовательно, получаем:

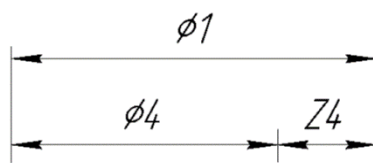
$$z_{5cp} = \phi_{4cp} - \phi_{5cp}$$

$$\phi_{4cp} = \phi_{5cp} + z_{5cp} = 44,984 + 1,245795 = 46,229\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi_4 = 46,6js11(\pm 0,08)\text{мм}$$

4. Размерная цепь №4:



Известно: $\phi_4 = 46,6js11(\pm 0,08)\text{мм}$

Найти: ϕ_1 , T_{ϕ_1}

Замыкающее звено: z_4

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$z_{4max} = z_{4min} + \sqrt{T_{\phi_4}^2 + T_{\phi_1}^2}$$

Допуск на размер ϕ_1 примем по средней экономической точности IT11.

$$T_{\phi_1} = 0,16\text{мм}$$

z_{4min} примем по ОСТ 1.41512-86, $z_{4min} = 0,62\text{мм}$

$$z_{4max} = 0,62 + \sqrt{0,16^2 + 0,16^2} = 0,846274\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{4cp} = \frac{z_{4max} + z_{4min}}{2} = \frac{0,846274 + 0,62}{2} = 0,733137\text{мм}$$

Следовательно, получаем:

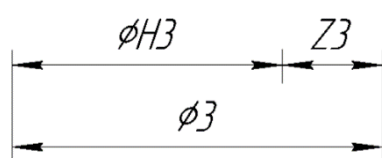
$$z_{4cp} = \phi_{1cp} - \phi_{4cp}$$

$$\phi_{1cp} = \phi_{4cp} + z_{4cp} = 46,6 + 0,733137 = 47,333137\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi_1 = 47,4js11(\pm 0,08)\text{мм}$$

6. Размерная цепь №3:



Известно: $\phi Z = 26,1js11(\pm 0,065)\text{мм}$

Найти: $\phi H3$, $T_{\phi H3}$

Замыкающее звено: $Z3$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

$Z3_{\min}$ 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.

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

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:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{3max} = z_{3min} + \sqrt{T\phi H3^2 + T\phi 3^2}$$

Допуск на размер $\phi H3$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$T\phi H3 = 1,1\text{мм}$$

$$z_{3max} = 1,19 + \sqrt{1,1^2 + 0,13^2} = 2,29766\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{3cp} = \frac{z_{3max} + z_{3min}}{2} = \frac{2,29766 + 1,19}{2} = 1,74383\text{мм}$$

Следовательно, получаем:

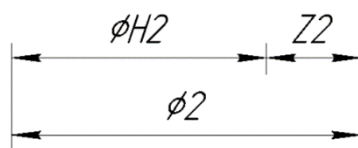
$$z_{3cp} = \phi 3_{cp} - \phi H3_{cp}$$

$$\phi H3_{cp} = \phi 3_{cp} - z_{3cp} = 26,1 - 1,74383 = 24,35617\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H3 = 24,4(\pm 0,55)\text{мм}$$

7. Размерная цепь №2:



Известно: $\phi 2 = 31,1js11(\pm 0,065)\text{мм}$

Найти: $\phi H2$, $T\phi H2$

Замыкающее звено: $z2$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Z_{2min} 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:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{2max} = z_{2min} + \sqrt{T\phi H3^2 + T\phi 3^2}$$

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

$$T\phi H3 = 1,1 \text{ мм}$$

$$z_{2max} = 1,19 + \sqrt{1,1^2 + 0,13^2} = 2,29766 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{2cp} = \frac{z_{2max} + z_{2min}}{2} = \frac{2,29766 + 1,19}{2} = 1,74383 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

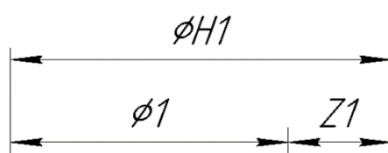
$$z_{2cp} = \phi 2_{cp} - \phi H2_{cp}$$

$$\phi H2_{cp} = \phi 2_{cp} - z_{2cp} = 31,1 - 1,74383 = 29,35617 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H2 = 29,4(\pm 0,55) \text{ мм}$$

8. Размерная цепь №1:



Известно: $\phi 1 = 47,4js11(\pm 0,08) \text{ мм}$

Найти: $\phi H1$, $T\phi H1$

Замыкающее звено: $z1$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011126.000 ПЗ

Лист

73

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

$Z_{1\min}$ 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:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{1max} = z_{1min} + \sqrt{T_{\phi H3}^2 + T_{\phi 3}^2}$$

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

$$T_{\phi H3} = 1,2 \text{ мм}$$

$$z_{1max} = 1,19 + \sqrt{1,2^2 + 0,16^2} = 2,40062 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{1cp} = \frac{z_{1max} + z_{1min}}{2} = \frac{2,40062 + 1,19}{2} = 1,79531 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

$$z_{1cp} = \phi H1_{cp} - \phi 1_{cp}$$

$$\phi H1_{cp} = \phi 1_{cp} + z_{1cp} = 47,4 - 1,79531 = 49,19531 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$\phi H1 = 49,2(\pm 0,6) \text{ мм}$$

Таблица 15 – Диаметральные операционные размеры и припуски

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Zmin	Zmax	Zcp	Метод расчета припуска
Ø11 = K7	Ø12 = K7 = 37 ± 0,15 мм	Получается за счет напуска			
Ø10 = K6	Ø10 = K5 = 23 ± 0,1 мм	Получается за счет напуска			
Ø9 = K5	Ø11 = K6 = 30 ± 0,1 мм	Получается за счет напуска			
Ø8 = K4	Ø8=K3=27H9(^{+0,052} ₀)мм	1,07	0,93	1,00	вероятностный
Ø7 = K3	Ø7=K2=32H7(^{0,025} ₀)мм	1,06	0,93	0,99	вероятностный
Ø5=K1	Ø5=K1=45h6(_{-0.016} ⁰)мм	1,16	1,33	1,24	вероятностный
Ø4	Ø4 = 46,6js11(±0,08)мм	0,62	0,84	0,3	вероятностный
Ø3	Ø3 = 26,1js11(±0,065)мм	1,19	2,29	1,14	вероятностный
Ø2	Ø2 = 31,1js11(±0,065)мм	1,19	2,29	1,74	вероятностный
Ø1	Ø1 = 47,4js11(±0,08)мм	1,19	2,40	1,79	вероятностный
ØН3	ØН3 = 24,4(±0,55)мм	-	-	-	-
ØН2	ØН2 = 29,4(±0,55)мм	-	-	-	-
ØН1	ØН1 = 49,2(±0,6)мм	-	-	-	-

2.1.9 Сравнительный анализ результатов расчета осевых и диаметральных размеров исходной заготовки

На данном этапе полученные результаты расчёта осевых и диаметральных размеров исходной заготовки сравниваем с результатом расчета, полученным при предварительном проектирование исходной заготовки. Сравнение проводим по средним значениям.

Таблица 16 – Сравнение результатов предварительного и уточнённого расчетов

№ п/п	Предварительный расчет (по ГОСТ Р 53464-2009)	Уточненный расчет	Результаты сравнения
Н1	21,7(±0,5)мм	21,4(±0.55)мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 2%)

H2	16($\pm 0,45$)мм	16,6($\pm 0,45$)мм	Увеличение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную цепь (разница составляет менее 4%)
H3	9,3($\pm 0,4$)мм	8,7($\pm 0,4$)мм	Уменьшение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную цепь (разница составляет менее 4%)
H4	15($\pm 0,5$)мм	15,8($\pm 0,5$)мм	Увеличение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную цепь(разница составляет менее 5%)
H5	7,7($\pm 0,4$)мм	8,4($\pm 0,4$)мм	Увеличение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную цепь(разница составляет менее 4%)
$\emptyset H1$	49($\pm 0,6$)мм	49,2($\pm 0,6$)мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 1%)
$\emptyset H2$	28($\pm 0,55$)мм	29,4($\pm 0,55$)	Увеличение припуска произошло из-за того что, размеры, которые входят в цепь находились вероятностным методом (разница составляет менее 5%)
$\emptyset H3$	24($\pm 0,55$)мм	24,4($\pm 0,55$)	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 2%)

Размеры H2, H4, H5 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.

2.1.10 Расчет режимов резания

Для определения оптимальных режимов резания для наиболее нагруженного технологического перехода, характеризующегося максимальным припуском на обработку, будут применены различные методические подходы.

Одним из них станет использование классической технической литературы.

Материал - Сталь 20ГСЛ

Точность обработки поверхностей: IT 12-7

Параметры шероховатости обработанных поверхностей: Ra 3,2

Заготовка – ЛВМ (IT 14)

Станок: Токарный обрабатывающий центр с ЧПУ DMG CTX 310 Ecoline

Расчет режимов резания для операции 010 токарная черновая с ЧПУ (черновая операция):

1. Подрезка торца

По карте 2 [16, стр. 37] определяем минимально необходимую глубину резания: $t=1,3$ мм.

Для подрезки торца выбираем токарный резец T5K10.

По карте 4 [16, стр. 40] выбираем подачу: $S_{O_T}=0,27$ мм/об. Поправочный коэффициент на подачу в зависимости от инструментального материала: $K_{S_{и}}=1,15$

Окончательную подачу определяют по формуле:

$$S_O=S_{O_T} * K_{S_{и}}=0,27*1,15=0,3105 \text{ мм/об}$$

По карте 21 [16, стр. 73] выбираем рекомендуемые значения скорости резания: $V_T=210$ м/мин. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от инструментального материала $K_{V_{и}}=0,85$

Окончательно скорость резания определяют по формуле:

$$V=V_T * K_{V_{и}}=210 * 0,85=178,5 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения шпинделя:

$$n=\frac{1000*V}{\pi*D}=\frac{1000*178,5}{3,14*37}=1538,2 \text{ мин}^{-1}$$

Принимаем частоту вращения, имеющуюся у станка, $n_{\phi}=1700 \text{ мин}^{-1}$

Тогда фактическая скорость резания:

$$V_{\phi}=\frac{\pi*D*n_{\phi}}{1000}=\frac{3,14*37*1700}{1000}=197,6 \text{ м/мин}$$

Проверка выбранных режимов по мощности привода главного движения

По карте 21 [16, стр. 73] выбираем мощность резания $N_T=6,3$ кВт и по карте 24 [16, стр. 85] поправочный коэффициент по мощности в зависимости от твердости обрабатываемого материала: $K_{N_M}=0,8$.

Табличную мощность резания корректируют по формуле:

$$N=N_T * K_{N_M} * \frac{V_{\phi}}{V}=6,3*0,8*\frac{197,6}{178,5}=5,57 \text{ кВт}$$

Рассчитанное значение не превышает мощности станка, следовательно, установленный режим резания по мощности осуществим

Основное технологическое время T_0 определяется по формуле:

$$T_0=\frac{L_1+L_2+L}{n*S_O}=\frac{3+5+20}{1538,2*0,3105}=0,06 \text{ мин}$$

Значения L_1 и L_2 приведены в табл.2, с.620 [17]

Вспомогательное время, к которому относится, затрачиваемое на установку, выверку и снятие заготовки ([18], табл. 22П), на рабочий ход ([18], табл. 23П), на выполнение измерений в процессе обработки ([18], табл. 24П).

$$T_{\text{всп}}=0,38+0,20+0,13=0,71 \text{ мин}$$

$$t_{\text{шт}}=T_0+T_{\text{всп}}=0,06+0,71=0,77 \text{ мин}$$

Выбор смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Согласно табл.24, с.233 [19] для проведенных выше условий рекомендуется 2-5% НГЛ–205

2.1.11 Выбор технологического оборудования и контрольно-измерительных средств

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) получили широкое распространение в современном машиностроительном производстве. Их внедрение является одним из ключевых направлений автоматизации среднесерийного производства.

Применение станков с ЧПУ способствует повышению производительности труда, создает предпосылки для организации многостаночного обслуживания, а также улучшает качество и скорость изготовления продукции. Подготовка производства переносится в область инженерных работ, сокращаются ее сроки, упрощается переход на новые виды изделий за счет заблаговременной подготовки управляющих программ. Это имеет важное значение в условиях рыночной экономики.

Выбор станков с ЧПУ производится после предварительной разработки каждой технологической операции с учетом следующих факторов:

- 1) обеспечение выполнения технологических требований к точности размеров, качеству поверхностей, соблюдению формы и расположения обрабатываемых поверхностей;
- 2) соответствие рабочей зоны станка габаритным размерам обрабатываемой детали;
- 3) производительность станка должна соответствовать заданному объему выпуска деталей;

4) мощность, жесткость и кинематические характеристики станка должны обеспечивать ведение обработки на оптимальных режимах резания с минимальными затратами времени и себестоимости.

На черновой токарной и чистовой токарной операции используем Токарный обрабатывающий центр с ЧПУ DMG CTX 310 Ecoline.



Рис. 29 Токарный станок с ЧПУ CTX 310

Основные характеристики токарного станка с ЧПУ CTX 310 приведены в таблице 5 [20].

Таблица 17 – Основные характеристики станка

Наименование параметра	CTX 310
Размер рабочей зоны станка	
Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм	Ø 330
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм	Ø 200
Поперечный ход револьверной головки (ось X), мм	182,5
Продольный ход револьверной головки (ось Z), мм	455
Ускоренный ход револьверной головки (ось X/Z), м/мин	30/30
Главный шпиндель	
Конец шпинделя - плоский фланец, мм	Ø 140h5
Диаметр переднего подшипника, мм	Ø 100

Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие в шпинделе, мм	Ø 51
Диаметр зажимного патрона, мм	Ø 210
Мощность главного привода (40/100% ED), кВт	16,5 /11
Ускорение шпинделя	0 – 5000 об/мин за 5,8 с
Крутящий момент (40/100% ED), Нм	166,5/112
Диапазон скорости вращения главного шпинделя, об/мин	0..5000
Системы управления	15" DMG MORI SLIMline® с Operate на SIEMENS
Габариты и масса станка	
Габаритные размеры станка с ЧПУ (длина, ширина, высота), мм	3145 × 1539 × 2153
Масса станка с транспортером стружки, кг	3800

На станках с числовым программным управлением (ЧПУ) осуществляется как черновая, так и чистовая обработка заготовок, зачастую имеющих множество обрабатываемых поверхностей.

Основными видами обработки детали являются токарные операции. Соответственно, для данного оборудования требуются стандартные режущие инструменты – резцы.

Многие производители станков комплектуют свое оборудование необходимым инструментальным оснащением. Однако также существует возможность отдельного выбора режущего инструмента от сторонних поставщиков, например, такого известного производителя, как Sandvik. [21]

Использование высококачественного, специализированного инструмента в сочетании с возможностями станков с ЧПУ позволяет обеспечивать высокую точность обработки деталей, соблюдение заданных параметров качества поверхностей, а также оптимизировать режимы резания для повышения производительности и снижения себестоимости изготовления продукции.

Грамотный подбор режущего инструмента с учетом конкретных требований к обрабатываемым деталям является важной задачей при

проектировании технологических процессов на станках с числовым программным управлением.

Для контроля геометрических параметров деталей, изготовленных на станках с ЧПУ, используется комплекс средств измерений, которые можно условно разделить на универсальные и специальные.

К универсальным средствам относятся такие традиционные инструменты, как штангенциркули, скобы, микрометры. Их применимость ограничена диапазоном и точностью измерений, но они являются стандартными и сравнительно недорогими.

В свою очередь, специальные средства измерений повторяют размер или форму контролируемой детали. Такие инструменты изготавливаются индивидуально для каждого изделия, что повышает их стоимость.

В условиях автоматизированного серийного производства использование специальных средств измерений становится экономически нецелесообразным. В этом случае предпочтительно применение автоматизированных контрольно-измерительных средств, которые могут использоваться для проверки множества различных деталей.

Выбор оптимальных средств измерения для контроля различных поверхностей обрабатываемых деталей следует осуществлять с учетом их технических характеристик и стоимости. Подберем средства измерения для контроля различных поверхностей с помощью электронного источника: [22]

1. Для контроля шероховатости – USB Профилограф-профилометр;
2. Для контроля диаметра и формы отверстий – Контрольно-измерительная машина (КИМ);
3. Для контроля соосности – Контрольно-измерительная машина (КИМ);
4. Для измерения линейных размеров используем – Контрольно-измерительная машина (КИМ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная цель выпускной квалификационной работы заключалась в проектировании технологического процесса изготовления готового изделия, исходя из чертежа детали и характера производства.

Для этого были использованы все полученные ранее навыки по конструктивному анализу деталей, работе с нормативно-технической документацией (ЕСКД, ЕСТД), проектированию технологической оснастки, а также знания в области материаловедения и выполнения различных инженерных расчетов.

При разработке технологии получения отливки и проектирования пресс-формы потребовалось тщательное изучение соответствующих государственных стандартов, включающих подробное описание каждого этапа технологического процесса.

В результате для серийного производства был выбран вариант ручной пресс-формы. При ее конструировании использовалась специальная техническая литература, ГОСТы и другая нормативная документация.

Особенностью спроектированной пресс-формы является возможность оперативной замены матриц, в которых формируется полость отливки, что существенно упрощает переналадку оборудования при частой смене номенклатуры выпускаемых деталей. Данное конструктивное решение является весьма целесообразным для организации серийного производства.

В разделе, посвященном проектированию литейной технологии, были выполнены расчеты основных геометрических параметров литниково-питающей системы. Однако, поскольку данная работа носит исключительно учебный характер, ряд конструктивных особенностей был упрощен.

Главной задачей технологической части являлось освоение методов и способов проектирования технологического процесса литейного производства. Для верификации рассчитанных параметров литниково-питающей системы было проведено компьютерное моделирование процесса литья с использованием программного комплекса NovaFlow & Solid CV 4.6r4.

Результаты моделирования позволили выявить и проанализировать возможные дефекты, допущенные при проектировании литниково-питающей системы. Это, в свою очередь, дало возможность внести необходимые коррективы в ее конструкцию.

Кроме того, в специальной части был разработан эскиз совмещенных технологических переходов, построены осевые и диаметральные размерные цепи с последующим их решением. На основе анализа размерных цепей была выполнена окончательная оценка технологического процесса.

Завершающим этапом стал выбор необходимого оборудования, технологической оснастки, режущего и вспомогательного инструмента, а также контрольно-измерительных средств. Это позволило сформировать комплексное технологическое решение для изготовления детали заданной конфигурации.

CONCLUSION

The main goal of the final qualifying work was to design the technological process for manufacturing the finished product, based on the drawing of the part and the nature of production.

For this purpose, all previously acquired skills in structural analysis of parts, working with regulatory and technical documentation (ESKD, ESTD), designing technological equipment, as well as knowledge in the field of materials science and performing various engineering calculations were used.

When developing the technology for producing a casting and designing a mold, a thorough study of the relevant state standards was required, including a detailed description of each stage of the technological process.

As a result, a manual mold was chosen for mass production. When designing it, special technical literature, GOST standards and other regulatory documentation were used.

A feature of the designed mold is the ability to quickly replace the matrices in which the casting cavity is formed, which significantly simplifies the readjustment of equipment when the range of manufactured parts is frequently changed. This design solution is very appropriate for organizing mass production.

In the section devoted to the design of foundry technology, calculations of the main geometric parameters of the gating-feeding system were performed. However, since this work is purely educational in nature, a number of design features have been simplified.

The main task of the technological part was to master the methods and methods of designing the technological process of foundry production. To verify the calculated parameters of the gating-feeding system, computer simulation of the casting process was carried out using the NovaFlow & Solid CV 4.6r4 software package.

The simulation results made it possible to identify and analyze possible defects made during the design of the gating-feeding system. This, in turn, made it possible to make the necessary adjustments to its design.

In addition, in a special part, a sketch of combined technological transitions was developed, axial and diametrical dimensional chains were constructed, followed by their solution. Based on the analysis of dimensional chains, a final assessment of the technological process was performed.

The final stage was the selection of the necessary equipment, technological equipment, cutting and auxiliary tools, as well as instrumentation. This made it possible to create a comprehensive technological solution for manufacturing a part of a given configuration.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Классификатор ЕСКД [Электронный ресурс] Сайт КлассИнформ | Коды общероссийских классификаторов на 2023 год с расшифровкой и поиском – Форма доступа: <https://classinform.ru/okeskd/kod.html//>
2. ГОСТ 2.109-73 «ЕСКД Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам»
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. ГОСТ 3212-92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров»
6. Иванов В.Н., Казеннов С.А. и др. Литьё по выплавляемым моделям. Под общ. ред. Шкленника Я. И., Озерова В. А. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.
7. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. М., «Машиностроение», 1974, 472с.
8. Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин; Под ред. В. А. Рыбкина. / Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений— М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 352 с.
9. ГОСТ 19551-74 «Стояки круглые для литья по выплавляемым моделям. Основные модели»
10. ГОСТ 26371-84 «Этилсиликат-40. Технические условия»
11. Индукционные печи средней частоты нового поколения [Электронный ресурс] Сайт Разработка и производство сложного наукоемкого электротехнологического оборудования – Форма доступа: http://reltec.biz/upload/image/pechi_sredney_chastoty.pdf
12. Электропечь индукционная ИСТ-0,16/0,25-И1 | Характеристики сведения | Каталог электротехнического оборудования Электропечь индукционная ИСТ-0,16/0,25-И1 | Характеристики сведения | Каталог

электротехнического оборудования [Электронный ресурс] Сайт Каталог электротехнического оборудования | Технические характеристики, сведения, фото – Форма доступа: <https://electro.mashinform.ru/ehlektropechi-plavilnye/jelektropech-indukcionnaja-ist-0-16-0-25-i1-obj5022.html>

13. Шихтовые материалы и их загрузка в печь [Электронный ресурс] Сайт учебные материалы онлайн – Форма доступа: https://studwood.net/1611451/tovarovedenie/shihtovye_materialy_zagruzka_pech

14. С. И. Пентюхин, А. В. Трапезников, К. А. Власова, Т. Д. Клюквина «Определение оптимальной технологии изготовления отливок с применением керамических форм»

15. Обучающий курс [Электронный ресурс] Сайт Машиностроительные технологии – Статьи – Форма доступа: https://lmx.ucoz.ru/kurs_litjya/c9.html

16. Гузеев В.И и др. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезернорасточных станков с числовым программным управлением: Справочник. 2-е изд. М.:Машиностроение, 2007.

17. Панов А.А, Аникин В.В, Бойм Н.Г и др. Обработка металлов резанием: Справочник технолога. М.:Машиностроение, 1988

18. Байкалова В.Н, Колокатов А.М, Малинина И.Д. Назначение режимов резания: Методические указания. М.:Машиностроение, 1988

19. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под ред. В. И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1990. 400.с

20. СТХ 310 Станок токарный с ЧПУ. Паспорт, схемы, характеристики, описание Сайт Каталоги станков и кузнечно-прессового оборудования – Форма доступа: https://stanki-katalog.ru/sprav_ctx310.htm

21. Каталог режущих инструментов [Электронный ресурс] Сайт Sandvik Coromant | Официальный сайт поставщика Сандвик Коромант в России – Форма доступа: <https://sandvik.importtools.ru/cert/catalogs/sandvikcoromantturning.pdf>

22. Средства контроля размеров и формы [Электронный ресурс] Сайт
Главная страница | АО «НИИИзмерения» – Форма доступа:
<http://www.micron.ru/production>

23. Справочник технолога-машиностроителя Т.2 /Под ред. А.Г.
Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:
Машиностроение. 1986 496с.