

**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 "Основание" из
стали ВНЛ-2 с разработкой процессов литья и обработки на станках с ЧПУ»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ

М.Ю. Набиуллин, 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 manufacturing technology for the “Base” part from VNL-2 steel with the development of casting processes and processing on CNC machines"

by
Nabiullin Musa Yusupovich

Submitted to the Department of Machine-Building Technology

in partial fulfillment of the Requirements for the degree of

BACHELOR OF SCIENCE

at the

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

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

Kazan 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ	4
ANNOTATION	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	8
1.1 Анализ рабочего чертежа детали.....	8
1.2 Материал детали.....	9
1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки ..	10
1.4 Проектирование заготовки	11
1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъема	13
1.6 Назначение литейных и формовочных уклонов.....	14
1.7 Выбор количества отливок в форме.....	15
1.8 Расчет литниково-питающей системы	16
1.9 Проектирование пресс-формы.....	19
1.9.1 Выбор пресс-формы	19
1.9.2 Требования, предъявляемые к пресс-формам	20
1.9.3 Выбор составных частей пресс-формы	20
1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям	21
1.11 Разработка технологии изготовления моделей и оболочковых форм ...	24
1.11.1 Изготовления моделей и сборка блока.....	24
1.12 Расчет шихты и выбор плавильного агрегата.....	26
1.12.1 Выбор плавильного агрегата	26
1.12.2 Разработка технологии плавки сплава.....	29
1.12.3 Подготовка печи к плавке	31
1.13 Заключительные этапы процесса: очистка и отделение отливок	33
1.14 Моделирование процессов литья	34

					КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Набиуллин М.Ю			Проектирование технологии изготовления детали "Основание" из стали ВНЛ-2 с разработкой процессов литья и обработки на станках с ЧПУ	Лит.	Лист	Листов
Проверил.		Шайхутдинова						
Реценз.						КНИТУ-КАИ гр. 1409		
Н. Контр.								
Утверд.		Шайхутдинова						

2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	38
2.1 Проектирование операционного технологического процесса механической обработки на станках с ЧПУ	38
2.1.1 Определение вида и числа операций	38
2.2 Формирование укрупненного плана технологического процесса	40
2.3 Определение осевых операционных размеров и осевых размеров заготовки	42
2.4 Методика расчёта размерных цепей	45
2.5 Расчет осевых размерных цепей	46
2.6 Эскиз совмещенных переходов диаметральных цепей и их расчет	61
2.7 Решение диаметральных размерных цепей	62
2.8 Сравнительный анализ результатов расчета осевых и диаметральных размеров исходной заготовки	66
2.9 Расчет режимов резания	67
2.10 Выбор технологического оборудования	69
2.11 Выбор контрольно-измерительных средств	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
CONCLUSION	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ ...	76

					КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Набиуллин М.Ю			Проектирование технологии изготовления детали "Основание" из стали ВНЛ-2 с разработкой процессов литья и обработки на станках с ЧПУ	Лит.	Лист	Листов
Проверил.		Шайхутдинова						
Реценз.						КНИТУ-КАИ гр. 1409		
Н. Контр.								
Утверд.		Шайхутдинова						

АННОТАЦИЯ

Сведения об объеме работы: 79 страниц, чертежи – 7, иллюстраций -26, приложений - 0, использованных источников – 18.

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 «Основание» из стали ВНЛ-2.

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.

ANNOTATION

Information about the volume of work: 53 pages, drawings – 5, illustrations - 12, applications - 0, sources used – 19.

Keywords: technological process, cutting tool, dimensional chains, technological operations, control program.

The object of research is the manufacturing technology of the "Fitting" part.

The purpose of the work is to develop mechanical engineering technology and create a control program for the "Fitting" part.

The research method is the theory of dimensional circuits, a method for calculating cutting modes and time standards, a method for developing a control program for a CNC machine.

The results obtained are the developed technological process of the "Fitting" part, the control program for the CNC machine.

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

The scope of application and implementation is the manufacture of parts of the fitting type in mass production

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) — это финальный этап обучения студента в высшем учебном заведении. Её цель — продемонстрировать полученные знания и навыки, а также провести самостоятельное исследование по выбранной теме.

В данной ВКР основное внимание уделяется разработке эффективной технологии производства детали «Основание». Работа включает в себя проектирование оснастки, расчёт операционных размеров и режимов резания.

Для достижения поставленной цели проводится анализ материалов, методов литья и обработки, а также применяются современные технологии станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Это позволит создать продукт, который будет конкурентоспособен на рынке и соответствовать требованиям современной промышленности.

Литейное производство играет важную роль в создании металлических деталей, позволяя изготавливать сложные элементы различных форм и размеров с высокой точностью и эффективностью.

В рамках данной работы значительное внимание уделяется литейному производству как ключевому этапу в создании качественной продукции.

Проводится анализ современных методов литья, осуществляется выбор оптимальных материалов и технологий подготовки формы. Это позволяет разработать эффективную технологию изготовления детали, которая соответствует высоким стандартам промышленности.

В работе рассматриваются как теоретические, так и практические аспекты процесса проектирования и изготовления детали «Основание».

В рамках работы выделены следующие основные задачи:

- Разобрать конструкцию детали "Основание";
- Разработать отливку согласно действующим стандартам;
- Спроектировать конструкцию литниково-питающей системы для обеспечения правильного наполнения формы металлом;

- Разработать оснастку для изготовления моделей и форм, необходимых;
- 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;

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ рабочего чертежа детали

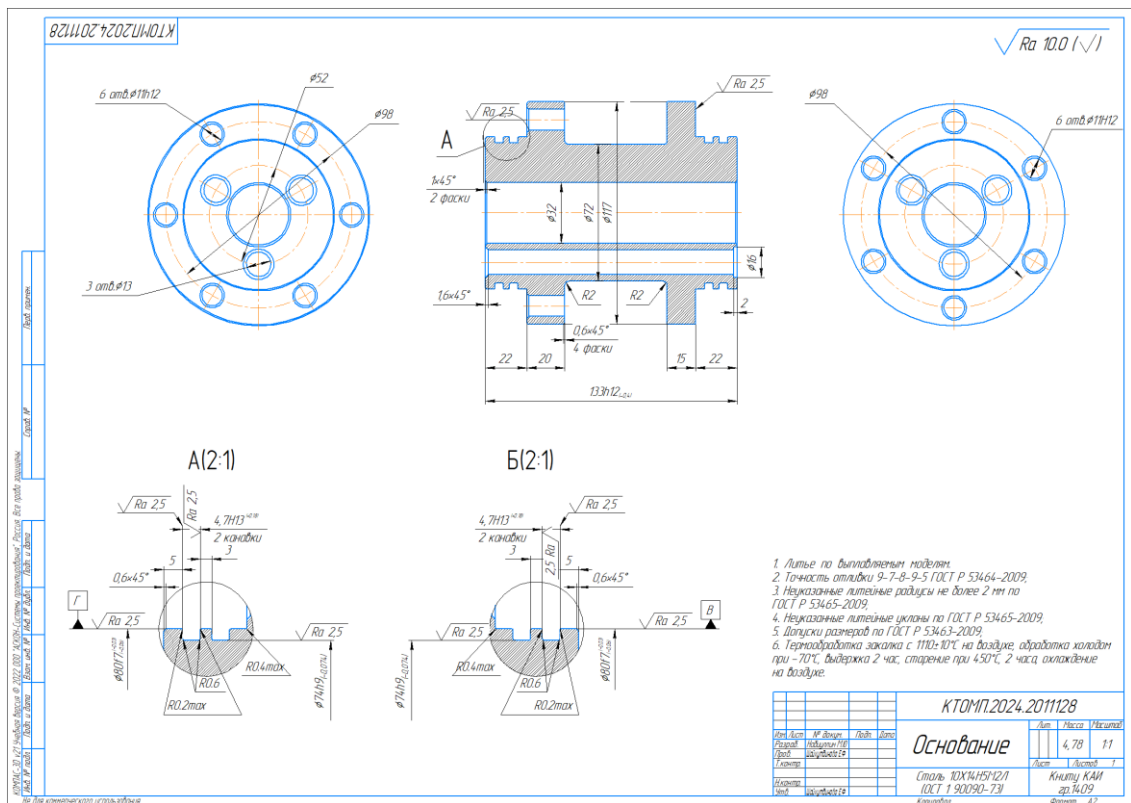


Рис. 1 Чертеж детали «Основание»

Основание – опорное устройство, являющееся технологической базой для размещения на ней деталей, машин, механизмов; объёмная конструкция с элементами для закрепления устанавливаемых деталей.

Вид заготовки – отливка. Деталь симметрична относительно своей оси. Все обрабатываемые поверхности имеют свободный подвод инструмента. Деталь состоит из стандартных и унифицированных конструктивных элементов: диаметральных и линейных размеров. Это способствует использованию стандартных режущих и измерительных инструментов.

Деталь «Основание» с габаритными размерами 133x117 мм. Корпус представляет собой цилиндрическую деталь.

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 закр. уступами, без нар. Резьбы / С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр без резьбы, гладким / Без кольц. паз. на торц., без паз. на нар. пов., с отв. вне оси дет.[1]

-	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
» 71164	С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., цилиндр. без резьбы, гладким
711642	Без кольц. паз. на торц., без паз. на нар. пов., с отв. вне оси дет.



Код классификатора ЕСКД 711642 / 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, гладким / Без кольц. паз. на торц., без паз. на нар. пов., с отв. вне оси дет.

Рис.2 Классификатор изделий и конструкторской документации

1.2 Материал детали

Для изготовления детали «Основание» принимаем сталь 10X14H5M2Л.
Марка: 10X14H5M2Л.

Класс: Сталь для отливок с особыми свойствами

Высоконагруженные детали (кронштейны, крыльчатки, корпуса в др.), работающие кратковременно при температурах до 600°С.

Химический состав стали 10X14H5M2Л по ОСТ 90090-79 [2]:

Таблица 1 – Химический состав

Марка стали	Массовая доля элемента, %

Обозначение по ОСТ 90090-79	Железо	Углерод	Марганец	Кремний	Фосфор	Сера
					не более	
10X14H5M2Л	Основа	0,12-0,16	0,9	0,75	0,025	0,025

Таблица 2 – Режимы термической обработки
стали 20ГСЛ

Марка стали	Режим термической обработки	
	Нормализация и отпуск	
	Закалка	Отпуск
	Температура, °С	
10X14H5M2Л	С 1110 на воздухе	450

Дополнительная информация и свойства:

Жидкотекучесть, Кж.т.: 0,9

Линейная усадка, %: 2

1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки

Правильный выбор заготовки оказывает непосредственное влияние на возможность рационального построения технологического процесса. Основными факторами, определяющими выбор метода и способа получения заготовок, являются:

- форма и размеры заготовки;
- точность формы, размеров и качество поверхностного слоя заготовок;
- технологические свойства материала;
- объем выпуска продукции;
- производственные возможности предприятия.

Чтобы уменьшить затраты на материалы и стоимость производства, необходимо добиться высокого коэффициента использования материала (КИМ). Для данной детали в качестве заготовок можно выбрать отливку.

Отливка — заготовка изделия, реже готовое изделие (деталь), полученная заливкой жидкого материала (металла или сплава, шлака, стекла, пластмассы и т. п.) в литейную форму, в которой он затвердевает.

В моем случае используем метод литья по выплавляемым моделям. Литьем по выплавляемым моделям называется метод получения литых деталей по разовым моделям в неразъемные керамические огнеупорные формы. После формирования на поверхности модели керамической оболочки модель перед заливкой металла удаляют выплавлением, выжиганием или растворением.

Преимуществами такого способа являются:

- Отсутствие у формы разъема обеспечивает повышенную точность;
- Возможность получения отливок самой сложной конфигурации практически из любых сплавов;
- Высокая точность и чистота поверхности отливки позволяют исключить последующую механическую обработку.

1.4 Проектирование заготовки

Устанавливаем в соответствии ГОСТ Р 53464-2009 [3] 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 7т-11. В соответствии с примечанием к приложению относят к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства получаем 9. [3]

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 7. [3]

По приложению В, назначаем степень точности поверхности отливок в соответствии с методом литья и материалом отливки 10-17. В соответствии с примечанием принимаем среднее значение для деталей средней сложности, соответственно получаем 8. [3]

По приложению Д, назначаем класс точности массы отливки в соответствии с массой отливки 5-13т. В соответствии с примечанием

принимаем среднее значение для деталей средней сложности, соответственно получаем 9. [3]

По приложению Е, выбираем ряд припусков на обработку отливки по степени точности поверхности отливки 14 получаем 5-8. Из условий в примечании принимаем среднее значение для стальных отливок 5.[3]

Припуск на обработку назначают на сторону с учетом общего допуска и ряда припуска.

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 [3] 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. [3]

Затем по таблице 6 [3], 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	Ø110	чистовая	1,6	3,1	120,5±1
2	Ø10	чистовая	1,2	2,7	7,3±1,4
3	Ø0	чистовая	2	3,8	40,5±1,9
Линейные размеры					
1	133	чистовая	1,8	2,4	137±1,5
2	15	получистовая	1,2	2,2	17±1,4
3	4	получистовая	1		5,3

Заготовка спроектирована в программе Компас v23.1. Ниже приведены рисунки последовательности создания 3D модели детали.

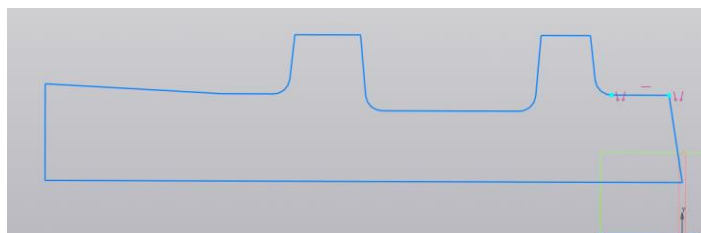


Рис. 3 Выбираем базовую систему координат ХУ. Создаем эскиз, используя размеры с чертежа.

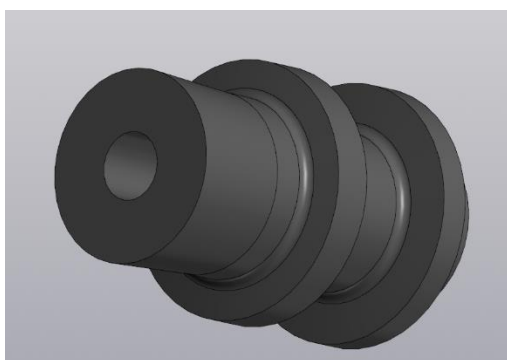


Рис. 4 С помощью команды «Вращение» создаем тело детали на основе полученного эскиза.

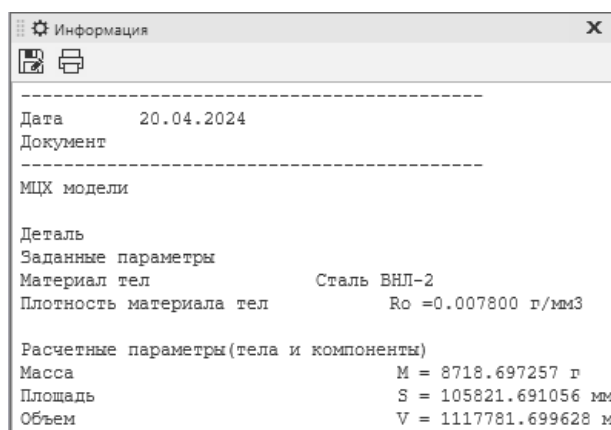


Рис. 5 Массо-центровочные характеристики «Чашки ПЗУ»

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

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{отливка}}} = \frac{4,7}{8,7} = 0,54$$

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

1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъема

Отливка в форме располагается вертикально. Питатель подведен к наибольшему диаметру, из-за его толщины. В случае ЛВМ плоскость разъема

не имеет значения, так как модель восковая и удаляется путем выплавления и одновременной сушки оболочки.

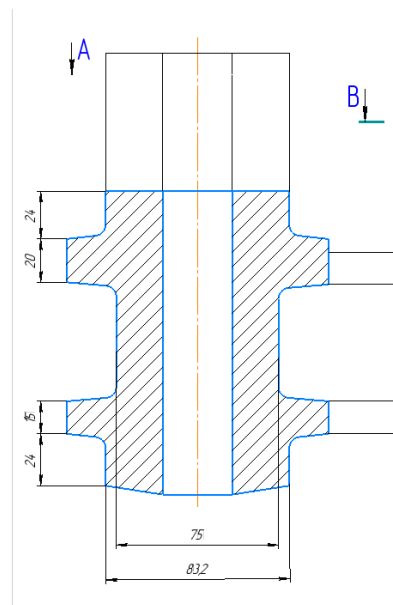


Рис. 6 Эскиз расположения отливки

1.6 Назначение литейных и формовочных уклонов

Формовочные и литейные уклоны назначаем по ГОСТ 3212-92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные. Стержневые знаки. Допуски размеров» [4]

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

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

2) на необрабатываемых поверхностях отливки, не сопрягаемых по контуру с другими деталями, за счет увеличения и уменьшения размеров отливки.

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

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

14

Таблица 4 – Значения формовочных уклонов для литья по выплавляемым
моделям

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

1.7 Выбор количества отливок в форме

Для своей детали я выбираю средне-серийное производство. Оно характеризуется производством 500-5000 изделий в год. Я приму в качестве ежегодной производительности моей детали 10 тысяч единиц в год. Учитывая нерабочие дни, ежедневное производство деталей будет равно 20 единицам в день. При производстве детали методом ЛВМ, она проходит множество технологических процессов (создание пресс формы, модельного состава и т.д), то в одном блоке будет заливаться сразу 8 деталей. Потому что они небольших размеров.

Таблица 5 – Зависимость типа производства от объема выпуска и массы детали

Тип производства	Годовой объем 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 – 5000	200 – 500	100 – 300
Крупносерийное	5000 – 50000	500 – 5000	300 – 1000
Массовое	Св. 50000	Св. 5000	Св. 1000

1.8 Расчет литниково-питающей системы

При определении оптимальной продолжительности заливки необходимо учитывать точку подвода сплава. Если сплав подводится снизу, то длительность заливки должна быть меньше, чем при подводе сверху. Это необходимо, чтобы обеспечить достаточно высокую температуру сплава в прибыли.

С другой стороны, при подводе расплава в тонкие участки отливки, более продолжительная заливка будет способствовать уменьшению внутренних напряжений 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 [5]:

Расчет времени заливки:

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

где δ – среднестатистическая толщина отливки, мм;

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

G – общая металлоемкость формы, кг.

Безразмерный коэффициент S для нашего случая примем равным 2.

Общая металлоемкость формы равна $G = 36,5$ кг

Можем найти время заполнения:

$$\tau_3 = 1,1 * \sqrt[3]{36,5 * 4,0} = 5,79 \text{ с}$$

Расчет минимального сечения элемента литниковой системы [5]:

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

где G – общая металлоемкость формы, кг;

μ – коэффициент массы расхода;

H_p – гидростатический напор, м;

ρ – плотность, кг/м³;

g – ускорение свободного падения тела, $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

Коэффициент массы расхода μ ищем по формуле:

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

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

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

В моем случае коэффициент массы расхода μ будет равен:

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

Гидростатический напор H_p равен 0,6 м.

Плотность стали равна 7830 кг/м³.

Тогда минимального сечения элемента ЛПС:

$$F = \frac{36,5}{0,239*7830*2,97*\sqrt{2*9,81*0,6}} = 0,000150 \text{ м}^2 = 1,50 \text{ см}^2$$

На основе всех вычислений создаем модель блока отливок со стояком, для того чтобы сделать окончательный чертеж оболочки.

В качестве примера и для дальнейших расчетов создадим трёхмерную модель.

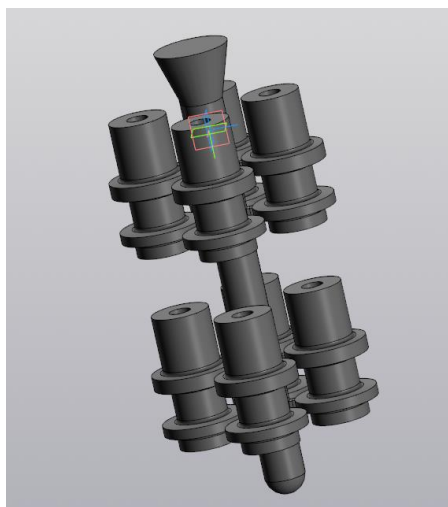


Рис. 7 Трёхмерная модель блока отливок

1. Время снятия теплоты перегрева: [5]

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

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*градус;

T_0 – температура окружающей среды, К;

S – площадь поверхности отливки, м²;

X – ширина отливки, м.

$$A = \frac{0,9}{48 * 293 * 0,010154} = 0,006$$

Найдем время снятия теплоты перегрева:

$$\tau_1 = 0,006 * [8,7 * 528 * (1608 - 1508)] = 54,91\text{с}$$

2. Время кристаллизации: [5]

$$\tau_2 = A * [m_{\text{отл}} * L]$$

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

Получаем:

$$\tau_2 = 0,0006 * [2,6 * 62000] = 64,48\text{ с}$$

3. Время охлаждения до температуры выбивки: [5]

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

$T_{\text{сол}}$ – температура солидус, К;

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

$$\tau_3 = 0,0006 * [2,6 * 491 * (1497 - 293)] = 614,81\text{ с}$$

Общее время затвердевания и охлаждения:

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

1.9 Проектирование пресс-формы

1.9.1 Выбор пресс-формы

Пресс-форма - это сложное устройство, используемое для изготовления изделий различной конфигурации из металлов, резины и других материалов под воздействием давления, создаваемого литьевыми машинами.

Формы используются при литье под давлением металлов и полимерных материалов, а также при литье под давлением. Существует множество видов форм: ручная, полуавтоматическая и автоматическая; съемная, полуразъемная и стационарная; с горизонтальными и вертикальными соединительными плоскостями; с одной или несколькими соединительными плоскостями.

Конструкция формы состоит из неподвижной части (матрицы) и подвижной части (пуансона), полости которой представляют собой обратный (отрицательный) отпечаток внешней поверхности заготовки. Несколько деталей (многоплоскостных форм) могут быть сформированы в одной форме одновременно.

Материал подается в полость формы через литниковую систему, а извлечение готового продукта осуществляется с помощью выталкивающей системы. Для поддержания необходимого температурного режима используется система охлаждения, обычно с использованием воды.

Из-за относительной сложности изготовления и высокой стоимости пресс-формы в основном используются для серийного и массового производства. В то же время конструкция пресс-формы предназначена для обеспечения легкого и безопасного извлечения готовой модели, поэтому они стараются свести к минимуму количество разъемов. Однако для получения сложных моделей необходимо использовать несколько разъемов.

Существуют формы для индивидуального и мелкосерийного, серийного и массового производства, которые различаются по конструкции и способам изготовления.

1.9.2 Требования, предъявляемые к пресс-формам

Основным критерием при изготовлении пресс-формы является получение отливки с заданными точностью и качеством поверхности.

При проектировании пресс-формы необходимо учитывать следующие факторы:

- тип производства, определяющий материал пресс-формы;
- минимальное количество разъемов пресс-формы, так как это повышает точность модели;
- обеспечение хорошего заполнения пресс-формы модельным составом, что предполагает наличие литниковой питающей системы (ЛПС) и вентиляционной системы для удаления воздуха;
- легкое, быстрое и безопасное извлечение модели из пресс-формы;
- быстрое охлаждение модельного состава в форме;
- долговечность пресс-формы;
- максимальное количество качественных отливок, что повышает производительность;
- простота конструкции пресс-формы.

Для серийного (автоматизированного) производства выбирается ручная пресс-форма, изготовленная из стандартных деталей. Такая конструкция характеризуется относительной простотой и быстротой разборки, сборки, ремонта и замены стержня.

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

1.9.3 Выбор составных частей пресс-формы

Благодаря конструкции пресс-формы, будет возможно изготовление одной восковой модели. Поскольку размеры заготовки не являются слишком большими, использование такой модели является целесообразным. Значительным преимуществом является низкая стоимость изготовления и простота конструкции пресс-формы.

Пресс-форма будет состоять из верхней и нижней половин, которые будут соединяться между собой с помощью откидных болтов.

Для обеспечения качественного центрирования будут использоваться специальные штыри, расположенные по диагонали. Такое расположение обеспечивает максимальную эффективность.

Для формирования отверстия в отливке предусмотрен стержень, спроектированный в соответствии с требованиями ГОСТ 3212-92 "Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров".[4]

Согласно ГОСТ 3212-92, для облегчения извлечения модели из полости пресс-формы на её поверхности будут выполнены уклоны, указанные в таблице данного стандарта. [4]

Таблица 6 – Формовочные уклоны по ГОСТ 3212-92

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

С помощью ГОСТ 3212-92 проектируем стержень, знаковые части. Для извлечения стержня из пресс-формы устанавливаем кольцо.

1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям

Литьё по выплавляемым моделям — это процесс, в котором для создания отливки используются одноразовые точные неразъёмные керамические оболочковые формы, изготовленные на основе одноразовых моделей с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой расплава модель удаляется из формы путём выплавления, выжигания, растворения или испарения. Для удаления остатков модели и укрепления формы её нагревают до высоких температур. Этот процесс обеспечивает почти полную непроницаемость формы для газов и улучшает заполнение формы

расплавом. Основные этапы технологического процесса показаны на рисунке 8. [6]

Модель или группа моделей создаются в разъёмной пресс-форме, рабочая полость которой имеет форму и размер отливки с учётом усадки модельного состава и материала отливки, а также обработки резанием (рис.8 а). Модель изготавливается из материалов с низкой температурой плавления (воск, стеарин, парафин) или способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твёрдых остатков (полистирол). [6]

Готовые модели или группы моделей собираются в блоки (рис.8 б), содержащие модели элементов литниковой системы из того же материала, что и модель отливки. Блок моделей состоит из групп, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка изготавливаются отдельно и устанавливаются в блок при его сборке. [6]

Для создания оболочковых форм полученный блок моделей погружается в ёмкость с жидкой формовочной смесью — суспензией, состоящей из пылевидного огнеупорного материала, например, пылевидного кварца или электрокорунда, и связующего (рис.8 в). В результате на поверхности модели образуется слой суспензии толщиной менее 1 мм. Для укрепления этого слоя и увеличения его толщины на него наносятся слои огнеупорного зернистого материала (мелкий кварцевый песок, электрокорунд, зернистый шамот) (рис.8 г). Операции нанесения суспензии и обсыпки повторяются до достижения оболочкой требуемой толщины (3–10 слоёв). Каждый слой покрытия сушится на воздухе или в парах аммиака, что зависит от связующего (рис.8 д). [6]

После сушки оболочковой формы модель удаляется из неё путём выплавления, растворения, выжигания или испарения. В качестве примера на рисунке 8 показано, как в процессе удаления выплавляемой модели в горячей воде при температуре ниже 1000°C получается многослойная оболочковая форма (рис.8 е). [6]

Для укрепления формы перед заливкой её помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным материалом (кварцевым песком, мелким боем использованных оболочковых форм) (рис.8 ж). [6]

Для удаления остатков моделей из формы и укрепления связующего контейнер с оболочковой формой помещается в печь для прокаливания (рис.8 з). Прокаливание формы проводится при температуре 900–1100°C, после чего прокалённая форма извлекается из печи и заливается расплавом (рис.8 и). После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форма выбивается, отливки очищаются от остатков керамики и отрезаются литники. Во многих случаях оболочки прокаливаются в печи до засыпки огнеупорным материалом, а затем для укрепления их засыпают предварительно нагретым огнеупорным материалом. Это позволяет сократить время прокаливания формы перед заливкой и снизить энергозатраты. [6]

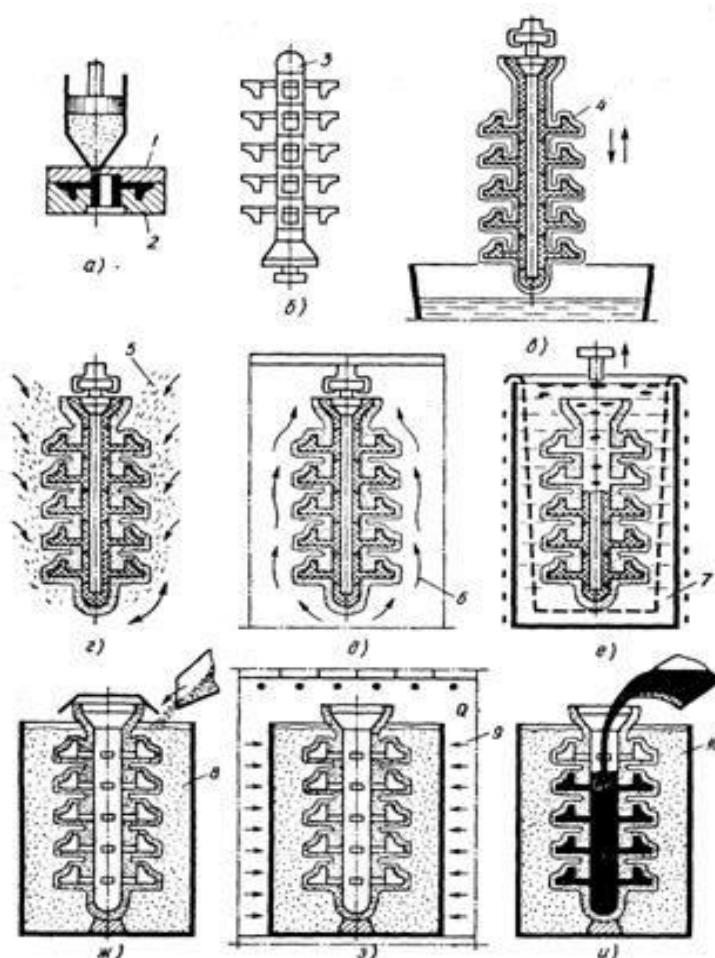


Рис.8 Поэтапное изготовление оболочковой формы

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

23

Разработав технологию плавки с помощью метода ЛВМ для данной детали, мы существенно уменьшаем количество механической обработки детали и трудоемкость ее выполнения. Сокращается потребность в высококвалифицированных рабочих, оборудовании и производственных площадях.

1.11 Разработка технологии изготовления моделей и оболочковых форм

1.11.1 Изготовления моделей и сборка блока

Модели будут изготавливаться в ранее спроектированной пресс-форме.

а) модельный состав

Для получения отливки необходимо изготовить ее модель. Для изготовления моделей применяют разнообразные модельные составы: выплавляемые, растворяемые, выжигаемые.

В расплавленном состоянии модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью для четкого воспроизведения конфигурации модели при заполнении полости пресс-формы и легкого и полного удаления из оболочковой формы. Модельный состав не должен прилипать к поверхности пресс-формы; химическое взаимодействие его с материалом пресс-формы недопустимо. После затвердевания в пресс-форме модельный состав должен обладать прочностью и твердостью, достаточными для того, чтобы модели не деформировались и не ломались на последующих операциях технологического процесса.

Выбираем стандартный материал – парафин. Это смесь углеводородов, состава С18Н38-С35Н72, температура плавления 40...65С, плотность 880...900 кг/м3. В воде и спиртах не растворим.

При 140С окисляется кислородом до органических кислот. Получают его сухой перегонкой бурого угля и горючих сланцев.

б) процесс изготовления моделей

Процесс изготовления моделей включает:

- подготовку пресс-формы;

- заполнение пресс-формы модельным составом;
- выдержку для затвердевания и охлаждения модели;
- разборку пресс-формы и извлечение модели; выдержку модели до окончания усадки.

В единичном, мелкосерийном и серийном производстве модели изготавливают в неавтоматизированных пресс-формах — пресс-формы заполняются шприц-машиной (рис. 9) или ручным шприцем.

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 собираться поочерёдно в блок, либо каждая модель может припаиваться индивидуально на центральный стояк. Литниковая чаша изготавливается отдельно и также припаивается индивидуально.

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). [7]

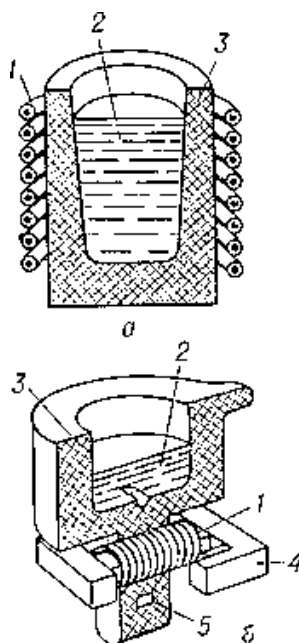


Рис.10 Схемы индукционных плавильных печей:

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 изготовляют 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. [7]

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. [7]

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: [7]

– 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

					КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

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: [7]

– 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 ВНЛ-2 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. [8]

Технические данные печи ИСТ-0,25/0,32-И1 приведены в таблице 7.

Таблица 7 – 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

Сначала производим выбор шихты и ее расчет. Нужно подобрать таким образом, чтобы при расплавлении шихты, содержание всех элементов было близким к заданной стали.

Химический состав шихтовых материалов приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Химический состав

Наименование материала	Элементы, %									
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	Cr	Nb	Fe
Сталь 20X13 по ГОСТ 5949-75	0,16 0,25	0,08	н.б. 0,8	н.б. 0,025	н.б. 0,025	-	-	14	-	осн. .
Н-0 по ГОСТ 849-97	-	-	-	-	-	99,9	-	-	-	-
Ферромолибден ФМо 60 ГОСТ 4759-91	0,5	-	0,80	0,040	0,080	-	60,0	-	-	ост. .

Расчет шихты аналитическим методом

Дано:

Содержание молибдена 2,5% и никеля 5%. Печь – индукционная, угар Мо 2%, Ni 1.5%.

Состав шихты представлен в таблице 9:

Таблица 9 – Состав шихты

Компоненты	Содержание, %	Mo	Ni
Сталь 20X13 по ГОСТ 5949-75	x	0	0
Ферромолибден ФМо 60 ГОСТ 4759-91	y	60	0
Н-0 по ГОСТ 849-97	z	0	99,9

Решение:

С учетом угара в шихту необходимо ввести молибдена и меди:

$$\mathfrak{E}_{Mo} = \frac{1.75 * 100}{(100 - 2)} = 2,55\%$$

$$\mathfrak{E}_{Ni} = \frac{5 * 100}{(100 - 1,5)} = 5,07\%$$

Выясним возможность получения требуемых содержаний молибдена и меди. Среднее содержание молибдена и меди в шихтовых материалах:

$$Mo = \frac{\frac{0 + 60 + 0}{3}}{100} = 0,2 \text{ кг}$$

$$Ni = \frac{\left(\frac{0 + 0 + 99,9}{3}\right)}{100} = 0,333 \text{ кг}$$

Для нахождения неизвестных величин x, y, z составляем три уравнения, массу шихты при расчете принимаем равной 10 кг.

$$1. x + y + z = 10$$

2. Для молибдена

$$0 * x + 60 * y + 0 * z = 10$$

3. Для никеля:

$$0 * x + 0 * y + 99,9 * z = 10$$

Выразив x через y и z, после преобразования получим два уравнения, решив которые получим неизвестные коэффициенты. Таким образом:

$$X=97,3\%; Y=1,7\%; Z=1\%$$

Состав шихты на 10 кг полученный аналитическим методом представлен в таблице 10:

					КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Таблица 10 – Результаты расчеты

Наименование составляющих	Содержание, кг
Сталь 20Х13 по ГОСТ 5949-75	9,73
Ферромолибден ФМо 60 ГОСТ 4759-91	0,170
Н-0 по ГОСТ 849-97	0,100
Итого	10

1.12.3 Подготовка печи к плавке

Огнеупорная футеровка печи изнашивается и для поддержания её в рабочем состоянии необходимо регулярно ремонтировать наиболее пострадавшие её участки. Поэтому после каждой плавки печь тщательно осматривается; подину прощупывают железным штырём, выявляют все повреждённые места и принимают меры по устранению обнаруженных повреждений. [9]

Сразу же после выпуска плавки печь необходимо очистить от остатков металла и шлака. Систематическое накопление остатков шлака на подине приводит к её зарастанию и уменьшению объёма ванны, в результате чего уровень зеркала металла поднимается, а это затрудняет ведение процесса (металл труднее перемешать, печь нельзя наклонять для схода шлака самотёком) и увеличивает опасность прорыва металла через откосы или порог рабочего окна. Кроме того, шлак, смешиваясь с заправочными материалами понижает их огнеупорность и способствует размягчению футеровки при высоких температурах. [9]

Повреждённые участки футеровки заправляют сухим магнезитовым порошком, а места наибольших повреждений - порошком, смоченным в жидком стекле. Наиболее пригоден для заправки специальный мелкозернистый порошок при размере зерна до 1,5 мм без включений извести и доломита. После заправки тщательно осматривают стены и свод печи и, если требуется, то проводится необходимый ремонт. [9]

Загрузка шихты

Загрузка шихты осуществляется сверху при помощи загрузочных бадей. Вся шихта загружается в один приём, длительность загрузки составляет 5-10 мин. Быстрая загрузка позволяет сохранять тепло, аккумулированное кладкой печи, в результате чего сокращается продолжительность плавления, уменьшается расход электроэнергии и электродов и увеличивает стойкость футеровки. При завалке сверху порядок укладки шихты в бадье предопределяет расположение в печи. Для предохранения подины от ударов крупных падающих кусков на дно бадьи загружено небольшое количество мелкого лома. Наиболее крупная шихта догружена вперемешку с шихтой средних размеров в центральной части бадьи так, что в печи крупные куски оказываются непосредственно под электродами, а сверху загружена мелкая шихта. [10]

Такая последовательность загрузки бадьи обеспечивает плотную укладку шихты в печи, что очень важно для стабильного горения дуг. Наличие сверху мелочи обеспечивает вначале плавления быстрое погружение электродов и исключает прямое воздействие излучения дуг на футеровку стен, а присутствие в шихте под электродами крупных кусков замедляет проплавление колодцев и исключает возможность погружения электродов до подины раньше, чем накопится слой жидкого металла, защищающий подину от прямого воздействия дуг. При наличии в шихте легирующих элементов они расположены так, что обеспечивается максимальная скорость их проплавления и минимальный угар. Тугоплавкие материалы (ферромолибден) загружен в центральную часть бадьи. Легкоплавкие металлы, например никель, в зоне дуг интенсивно испаряется, поэтому для уменьшения потерь его располагают ближе к откосам. При недостаточном количестве в шихте углерода вводят либо чугун, либо электродный бой. Для более раннего образования шлака, предохраняющего металл от окисления и для дефосфорации в процессе плавления, в завалку вводят известь в количестве 2-3 % и железную руду 1-1,5 % от массы садки (6,0 т.). [10]

1.13 Заключительные этапы процесса: очистка и отделение отливок

а) 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.

б) доводка отливок

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

На рис. 11 показаны конструкция и принцип действия простого дробеструйного аппарата.

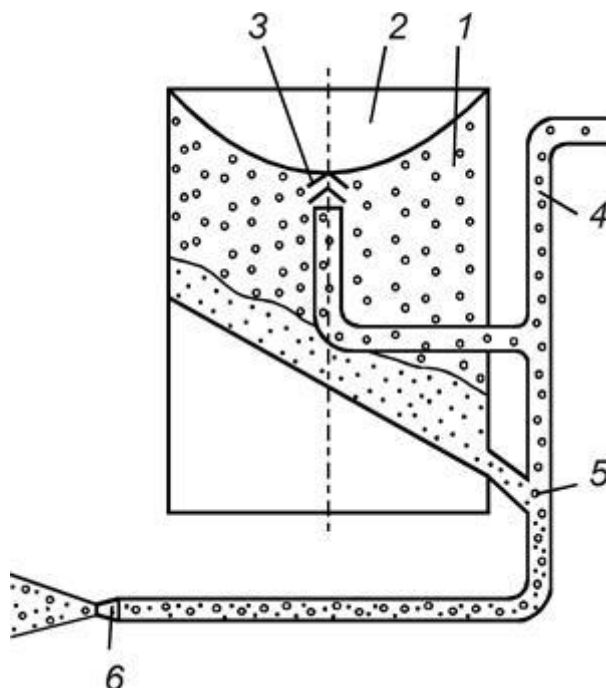


Рис. 11 Схема устройства дробеструйного аппарата

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 дробы 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.

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:

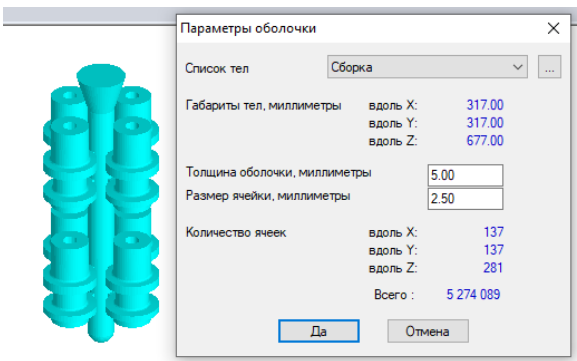


Рис. 12 Создание оболочки



Рис. 13 Оболочка

Зададим параметры для сетки: размеры ячейки и рабочей области

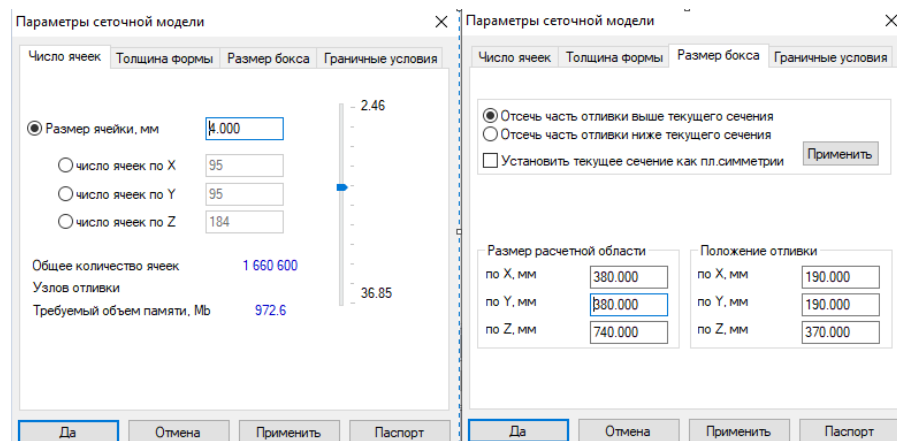


Рис. 14 Создание сетки

Далее установим материалы для частей отливок, оболочки и формы, и их начальную температуру, укажем литниковую точку (место подвода металла) и укажем время заливки 5,79 с.

☒	Отливка		
☒	Mold - Ceramic	Материал формы	20.000
☒	VNL-2	Сплав	1570.000
☒	Прочее		
☐	Mold - Green Sand(S)	Материал формы	20.000
☒	Air - In mold	Среда полости	20.000

Рис. 15 Назначение материалов

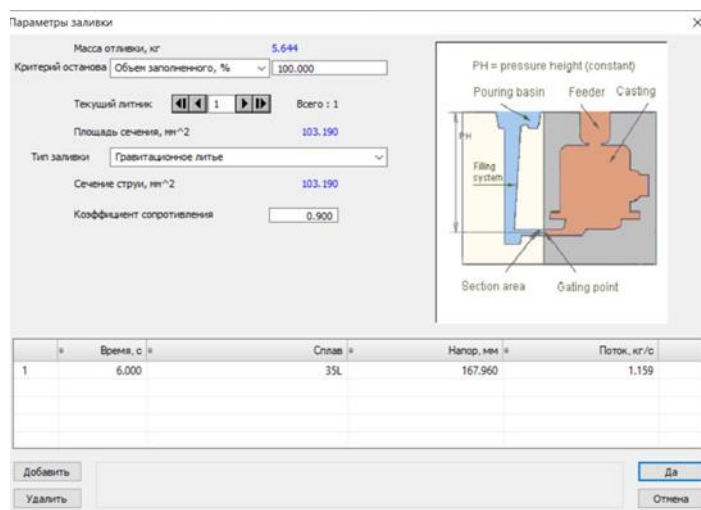


Рис. 16 Параметры заливки

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

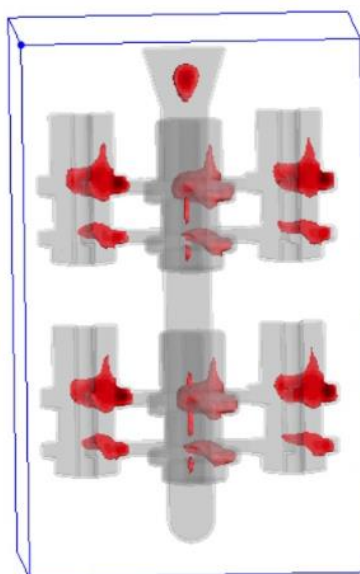


Рис. 17 Усадка

По результатам моделирования выяснили что есть вероятность появления усадочных дефектов в полости отливки. Для более качественной отливки требуется предусмотреть более объемную прибыль и изменить ее форму. Так же увеличить диаметр стояка.

Проведя повторное моделирование с измененной моделью, видим, что провели правильную доработку, так как усадка сместилась в прибыли

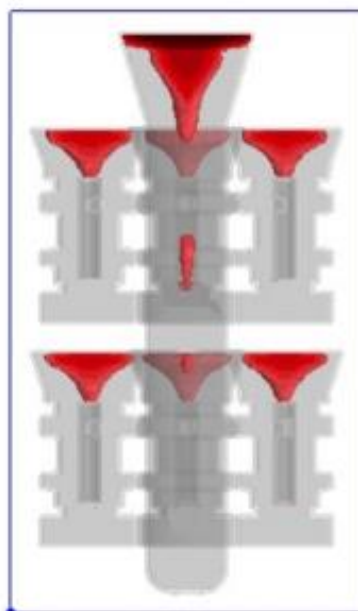


Рис. 18 Повторные результаты моделирования

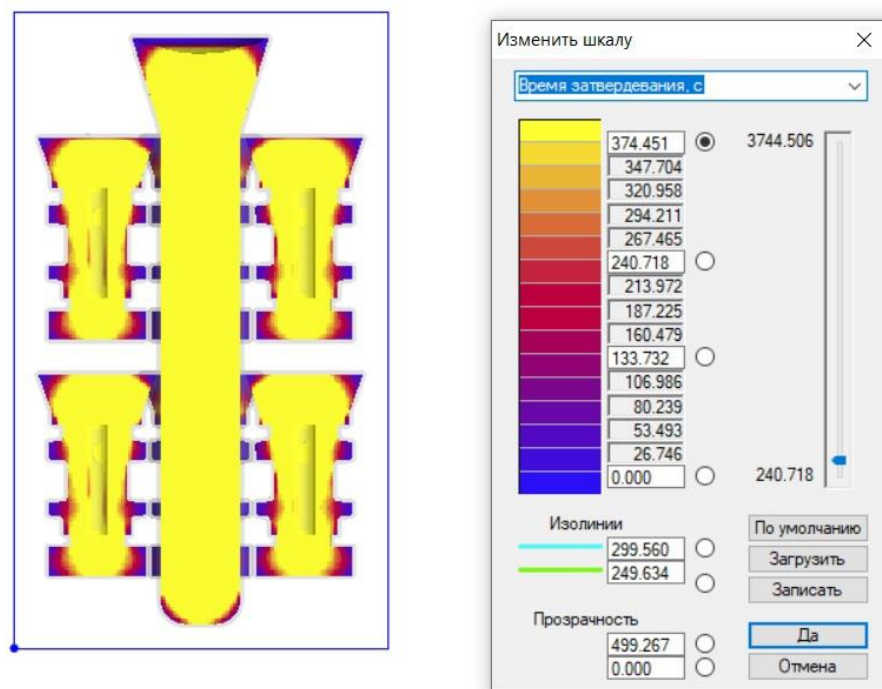


Рис. 19 Время затвердевания

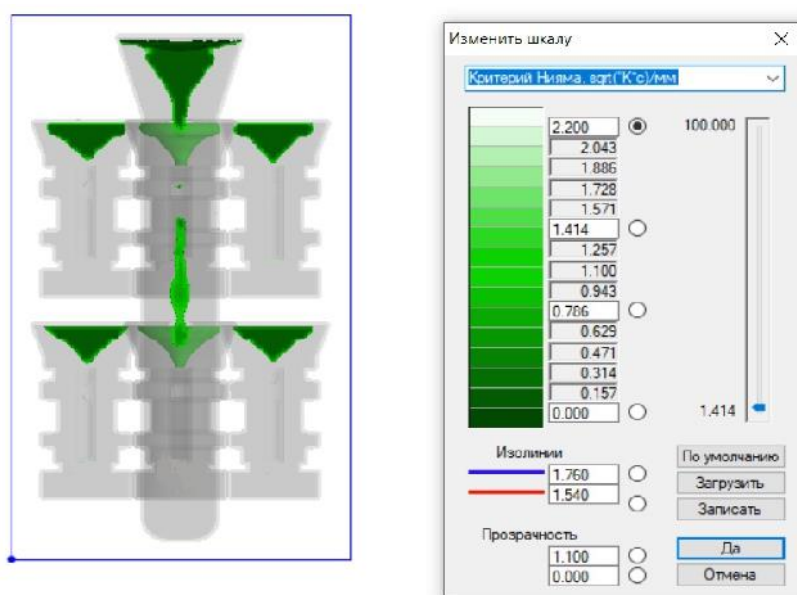


Рис. 20 Критерий Ниямы

Оценив микропористость отливки по критерию Ниямы. В норме значения данного критерия должны быть не менее 0,85. Как мы видим из результатов моделирования, в самой детали значения соответствуют норме. Ниже показатели только в прибыхах, что нас устраивает.

2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Технологический процесс представляет собой поэтапное описание действий, которые приводят к получению готового продукта путём механического удаления материала.

Этот процесс оформляется в виде технологического маршрута, который определяет последовательность и содержание всех необходимых операций.

В технологический маршрут могут входить различные виды механической обработки, такие как фрезерование, токарная обработка, сверление, шлифование и другие. На каждом этапе подробно описывается используемое оборудование, режимы обработки, инструменты и приспособления, а также контрольные операции.

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

2.1 Проектирование операционного технологического процесса механической обработки на станках с ЧПУ

2.1.1 Определение вида и числа операций

План обработки поверхности представляет собой поэтапное описание методов обработки каждого элемента поверхности, которые необходимы для достижения требуемой 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.

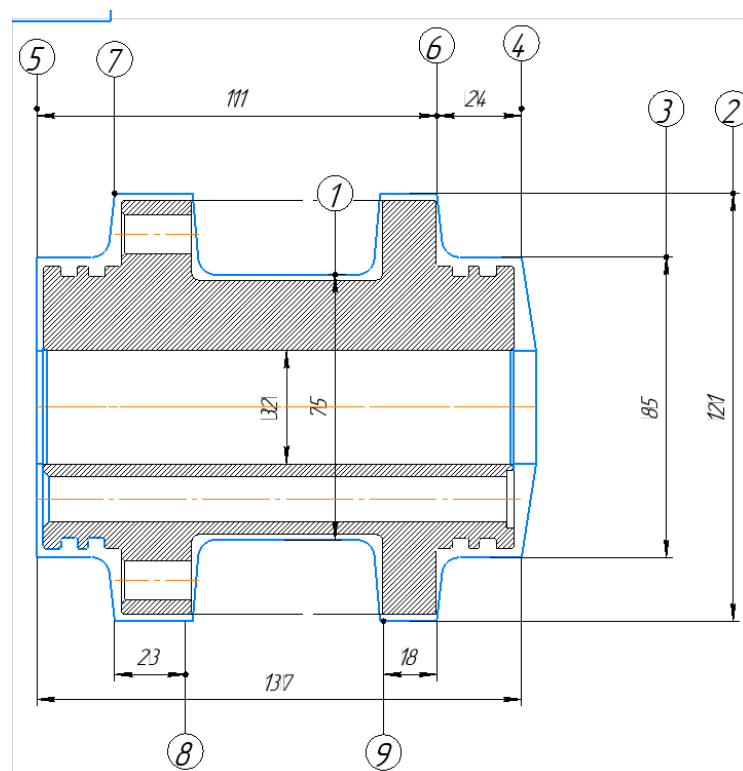


Рис. 21 Обозначение ступеней обработки основных поверхностей

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 11 – Расчет ступеней обработки

№	Наименование поверхности	$T_{\text{заг}}, \text{мм}$	$T_{\text{дет}}, \text{мм}$	K_{Σ}	n_r
1	Цилиндрическая внешняя	2,2	0,3	7,3	1,8≈2
2	Цилиндрическая внешняя	2,4	0,35	6,8	1,8≈2
3	Цилиндрическая внешняя	2,2	0,107	19,8	2,2≈2
4	Торцевая поверхность	2,2	0,3	7,3	1,8≈2
5	Торцевая поверхность	2,2	0,3	7,3	1,8≈2
6	Торцевая поверхность	1,4	0,18	7,7	1,9≈2
7	Торцевая поверхность	1,4	0,18	7,7	1,9≈2
8	Торцевая поверхность	1,6	0,21	7,6	1,9≈2
9	Торцевая поверхность	1,6	0,21	7,6	1,9≈2

Таблица 12 – Сводная таблица ступеней обработки

№ размера	Класс точности	Шероховатость	Ступени обработки
1	-	Ra 2,5	Черновая; Чистовая;
2	-	Ra 1,25	Черновая; Чистовая
3	f7	Ra 2,5	Черновая; Чистовая;
4	h12	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
5	h12	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
6	-	Ra 2,5	Черновая Чистовая
7	-	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
8	-	Ra 2,5	Черновая; Чистовая
9	-	Ra 2,5	Черновая; Чистовая

2.2 Формирование укрупненного плана технологического процесса

Рассмотрим основные этапы механической обработки деталей:

1. Черновой этап – данный этап обеспечивает удаление поверхностных дефектов с заготовки, уменьшает припуски на следующую обработку, характеризуется высокой производительностью оборудования и невысокой точностью обработки.

2. Чистовой этап – обеспечивает минимальные припуски для окончательных операций, характеризуется более точным оборудованием.

3. Окончательный этап – на данном этапе обеспечивается требуемая точность и качество поверхностного слоя детали в соответствии с конструкторской документацией.

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

Укрупненный план технологического процесса представляет собой перечень этапов изготовления деталей, в состав которого входят основные позиции:

1. Заготовительный этап (изготовление заготовки).
2. Термообработка (для улучшения резания и снятия остаточных напряжений).
3. Черновой этап (черновая обработка комплекта технологических баз и предварительная обработка комплекса основных поверхностей).
4. Чистовой этап (обработка комплекта технологических баз и чистовая обработка поверхностей, точность которых выше общих допусков).
5. Термообработка (для обеспечения требуемых свойств поверхностного слоя).
6. Окончательный этап (обработка особо точных поверхностей и нанесение покрытий).

Таблица 13 – Маршрутное описание технологического процесса

№ Операции	Наименование и содержание операции	Оборудование
Оп. 000	Заготовительная	ЛВМ
Оп.005	Термообработка для улучшения резания материала	Термическая печь
Оп.010	Токарная черновая	Сверлильно-фрезерный станок
Оп.015	Токарная черновая	Токарно-фрезерный станок
Оп.020	Токарная чистовая с ЧПУ	Токарно-фрезерный станок с ЧПУ
Оп.025	Термообработка	Термическая печь
Оп.030	Контрольная	КИМ

2.3 Определение осевых операционных размеров и осевых размеров заготовки.

Эскиз совмещённых переходов составляется по ходу технологического процесса, то есть начиная с заготовительной операции в порядке выполнения операций, установов и переходов. Вначале на поле чертежа наносится эскиз исходной заготовки с условными обозначениями начальных размеров Н1, Н2 и Н3 (рисунок 22). Их мы наносим над эскизом заготовки.

При переходе к следующим этапам обработки, на эскизе последовательно отображаются промежуточные состояния детали, показывающие изменения ее формы и размеров в ходе технологических операций. Эскиз совмещенных переходов служит наглядным графическим представлением всего технологического маршрута изготовления изделия.

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.

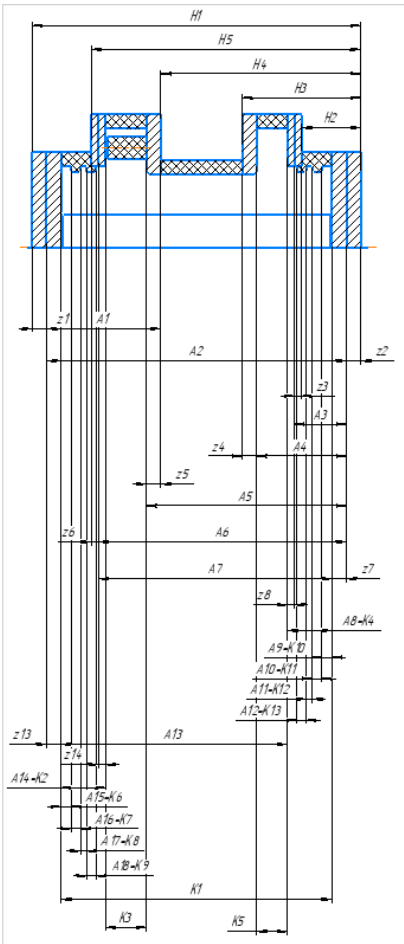
Для построения ЭСП вначале составляется эскиз заготовки, проводя линии, определяющие её границы, и наносятся начальные условные размеры Н1, Н2, Н3, Н4 и Н5 над эскизом заготовки.

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.

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 получаются автоматически. В цепи должно быть только одно замыкающее звено.



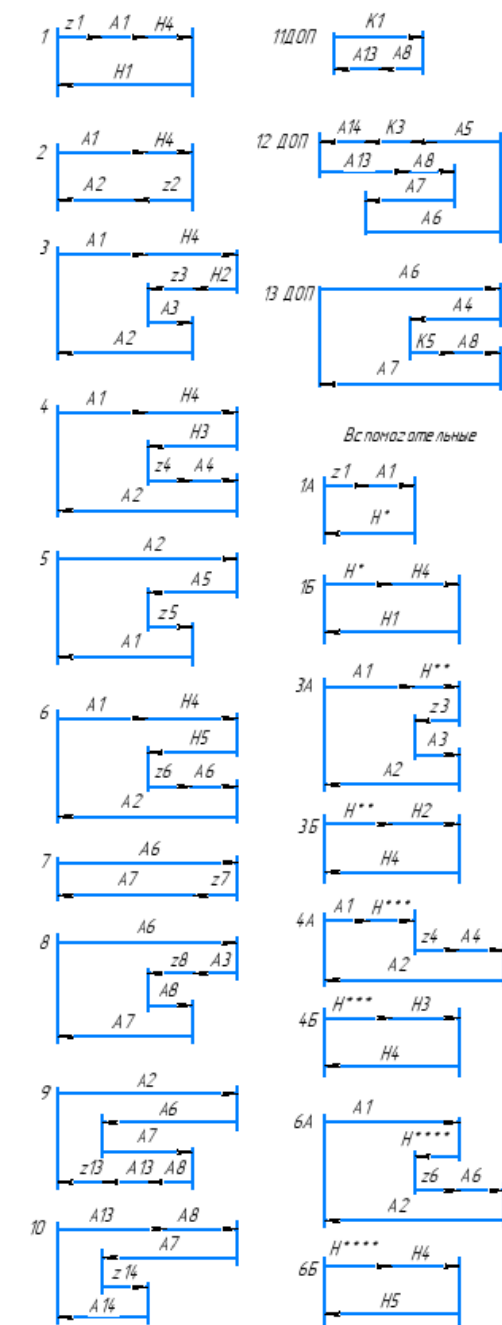


Рис. 23 Осевые размерные цепи.

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

<i>N</i>	<i>N цепи</i>	<i>Замыкающее звено</i>	<i>Определяемые размеры</i>
1	11Д0П	К1	ТА13, ТА8, А13
2	12Д0П	К3	ТА14, ТА5, ТА6, ТА7
3	13Д0П	К5	ТА4
4	10	З14	А7
5	7	З7	А6
6	8	З8	А3
7	9	З13	А2
8	12Д0П	К3	А5
9	5	З5	А1
10	2	З2	Н4
11	13Д0П	К5	А4
12	1А	З1	Н*
13	1Б	-	Н1
14	3А	З3	Н**
15	3Б	-	Н2
16	4А	З4	Н***
17	4Б	-	Н3
18	6А	З6	Н****
19	6Б	-	Н5

Рис. 24 Порядок решения размерных цепей.

2.4 Методика расчёта размерных цепей

Для проведения расчётов можно использовать метод максимума-минимума, а при необходимости — вероятностный метод. Из четырёх известных способов расчёта размерных цепей мы выбрали способ средних значений, поскольку допуски размеров заданы симметрично. Это упрощает работу при программировании станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Кроме того, при переходе от расчёта методом максимума-минимума к вероятностному методу и наоборот, операционные размеры и размеры исходных заготовок не меняются, изменяются только операционные допуски. Это удобно для сравнения результатов расчётов.

Выбор метода максимума-минимума обычно считается целесообразным при наличии совокупности следующих факторов:

- невысокие требования к точности замыкающего звена;
- малое количество звеньев;
- изготовление детали в условиях единичного и мелкосерийного

производства.

К подобным цепям относятся в первую очередь трёхзвенные цепи, замыкающим звеном которых является операционный припуск. Решать такие цепи рекомендуется способом предельных значений, так как они решаются через минимальное значение операционного припуска.

Также таким методом можно решать часть осевых трёхзвенных и четырёхзвенных цепей, замыкающим звеном которых являются:

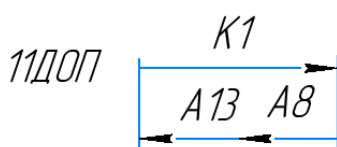
- размеры рабочего чертежа с общими допусками;
- глубина термоупрочненного или наращенного слоя, заданная конструктором с точностью, сравнимой с общими допусками или грубее.

Эти цепи можно решать способом отклонений, способом координат средин полей допусков или способом средних значений в зависимости от способа задания размеров рабочего чертежа.

В остальных случаях рекомендуется применять вероятностный метод расчета размерных цепей способом средних значения или координат средин полей допусков.

2.5 Расчет осевых размерных цепей

1. Размерная цепь №11 (дополнительная):



Известно: $K1=133h12_{(-0.4)}$ мм;

$A8=K4=22\pm0,2$ мм

Найти: $TA13$; $TA8$; $A13$

Замыкающее звено: $K1$

Используем вероятностный метод:

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

$$T_{K1} \geq \sqrt{TA13^2 + TA8^2}$$

Допуск на размер $A13$ примем по средней экономической точности IT9.

$TA13=0,087$ мм

$$0,4 \geq \sqrt{0,087^2 + 0,4^2}$$

Данное неравенство неверно, ужесточим допуск на конструкторский размер А8, примем допуск по средней экономической точности методов обработки, IT9.

$$TA8=0,052$$

$$0,4 \geq \sqrt{0,087^2 + 0,052^2} - \text{верно}$$

Найдем номинальный размер:

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

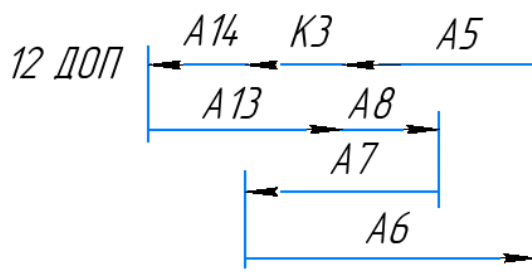
Следовательно, получаем: $K1 = A13 + A8$

$$A13 = K1 - A8 = 133 - 22 = 111\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A13 = 111js9(\pm 0,0435)\text{мм}$$

2. Размерная цепь №12 (дополнительная):



Известно: $A14=K2=22\pm 0,2\text{мм}$;

$A8=K4=22\pm 0,026\text{мм}$

$K3=20\pm 0,2\text{мм}$

$A13=111 js9(\pm 0,0435)\text{мм}$

Найти: $TA14$; $TA5$; $TA7$; $TA6$

Замыкающее звено: $K3$

Используем вероятностный метод:

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

$$T_{K3} \geq \sqrt{TA14^2 + TA8^2 + TA5 + TA7 + TA6 + TA13}$$

Допуск на размер $A13$, $A7$, примем по средней экономической точности IT9. На размер $A5$, $A6$ по IT12

$$TA13=0,087\text{мм}$$

$$TA6=0,35\text{мм}$$

$$TA7=0,087\text{мм}$$

$$TA5=0,35\text{мм}$$

$$0,4 \geq \sqrt{0,4^2 + 0,052^2 + 0,35^2 + 0,087^2 + 0,35^2} - \text{не верно}$$

Данное неравенство неверно, ужесточим допуск на конструкторский размер A14, примем допуск по средней экономической точности методов обработки, IT9. Для размеров A5 и A6 так же ужесточим допуск, примем по IT10.

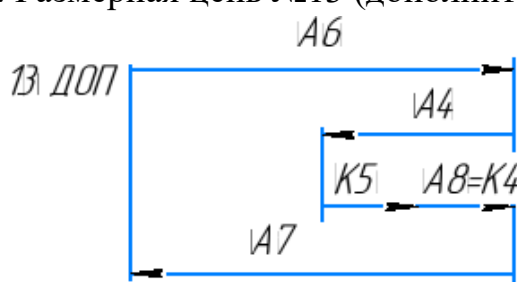
$$TA_{14}=0,052\text{мм}$$

$$TA_5=0,14\text{мм}$$

$$TA_6=0,14\text{мм}$$

$$0,4 \geq \sqrt{0,087^2 + 0,052^2 + 0,14^2 + 0,087^2 + 0,14^2 + 0,052^2} - \text{верно}$$

3. Размерная цепь №13 (дополнительная)



Известно: $A_8=K_4=22\pm0,026\text{мм}$

$K_5=15\pm0,2\text{мм}$

$TA_6=0,14\text{мм}$

$TA_7=0,087\text{мм}$

Найти: TA_4

Замыкающее звено: K_5

Используем вероятностный метод:

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

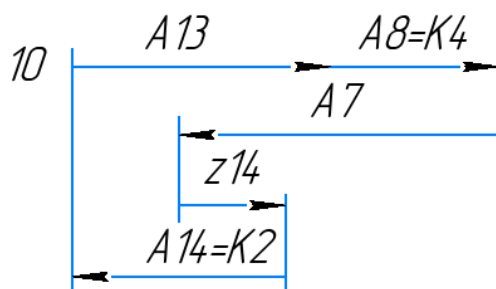
$$T_{K_5} \geq \sqrt{TA_4^2 + TA_6^2 + TA_7 + TA_8}$$

Допуск на размер A4, примем по средней экономической точности IT12.

$$TA_4=0,25\text{мм}$$

$$0,4 \geq \sqrt{0,25^2 + 0,14^2 + 0,087^2 + 0,052^2} - \text{верно}$$

4. Размерная цепь №10:



Известно: $A_{14}=K_2=22\pm0,026\text{мм};$

$A_8=K_4=22\pm0,026\text{мм}$

$A_{13}=111js9(\pm0,0435)\text{мм}$

Найти: A_7

Замыкающее звено: z_{14}

Найдем максимальный припуск:

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

48

$$Z_{14max} = z_{14min} + \sqrt{TA_{14}^2 + TA_{13}^2 + TA_8^2 + TA_7^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер A1 примем по средней экономической точности IT12.

$$TA_1 = 0,21 \text{ мм}$$

Z4min примем по ОСТ 1.41512-86, Z4min=1,0-0,21=0,79мм

$$z_{4max} = 0,79 + \sqrt{0,052^2 + 0,052^2 + 0,087^2 + 0,087^2} = 0,933 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{14cp} = \frac{z_{14max} + z_{14min}}{2} = \frac{0,933 + 0,79}{2} = 0,86 \text{ мм}$$

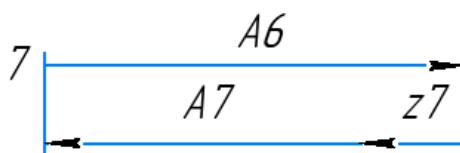
Следовательно, получаем: $z_{14cp} = A_{13cp} + A_{8cp} - A_{7cp} - A_{14}$

$$A_{7cp} = A_{13cp} + A_{8cp} - A_{14} - z_{14cp} = 111 + 22 - 22 - 0,86 = 110,14 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_7 = 110,3js9(\pm 0,0435) \text{ мм}$$

5. Размерная цепь №7:



Известно: $A_7 = 110,3js9(\pm 0,0435) \text{ мм}$

Найти: A6

Замыкающее звено: z7

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{7max} = z_{7min} + \sqrt{TA_6^2 + TA_7^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Z7min примем по ОСТ 1.41512-86, Z7min=1,0-0,35=0,65мм

$$z_{7max} = 0,65 + \sqrt{0,14^2 + 0,087^2} = 0,814 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{7cp} = \frac{z_{7max} + z_{7min}}{2} = \frac{0,814 + 0,65}{2} = 0,732 \text{ мм}$$

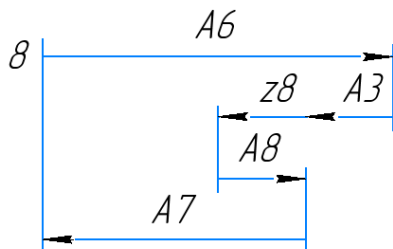
Следовательно, получаем: $z_{7cp} = A_{6cp} - A_{7cp}$

$$A6 = A7_{cp} + z_{7cp} = 110,3 + 0,732 = 111,03$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A6 = 111JS10(\pm 0.07)_{MM}$$

6. Размерная цепь №8:



Известно: $A_7 = 110,3 \pm 0,0435$ мм

$$A6 = 111JS10(\pm 0.07)_{MM}$$

$$A8=K4=22\pm0,026\text{MM}$$

Найти: ТАЗ, АЗ

Замыкающее звено: z8

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{8max} = z_{8min} + \sqrt{TA6^2 + TA7^2 + TA8^2 + TA3^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$$A_{\Sigma_{\text{cp}}} = \sum \vec{A}l - \sum \overleftarrow{A}l$$

Допуск на размер А3 примем по средней экономической точности IT12.

TA3=0,21MM

Z8min прием по ОСТ 1.41512-86, Z8min=1,0-0,21=0,79мм

$$z_{8max} = 0,79 + \sqrt{0,14^2 + 0,087^2 + 0,052^2 + 0,21^2} = 1,06 \text{ mm}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{8cp} = \frac{z_{8max} + z_{8min}}{2} = \frac{1,06 + 0,79}{2} = 0,925 \text{ мм}$$

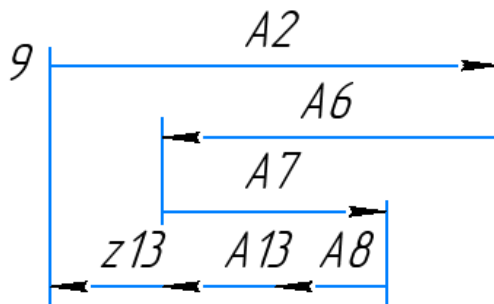
Следовательно, получаем: $z_{8cp} = A8_{cp} + A6_{cp} - A7_{cp} - A3_{cp}$

$$A3_{\text{cpc}} = A8_{\text{cp}} + A6_{\text{cp}} - A7_{\text{cp}} - z_{8cp} = 22 + 111 - 110,3 - 0,925 = 21,775\text{mm}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A3 = 21,8JS12(\pm 0.105)_{MM}$$

7. Размерная цепь №9:



Известно: $A_6 = 111JS10(\pm 0.07)\text{мм}$

$A_7 = 110,3js9(\pm 0,0435)\text{мм}$

$A_{13} = 111js9(\pm 0,0435)\text{мм}$

$A_8 = K_4 = 22 \pm 0,026\text{мм}$

Найти: TA_2 ; A_2

Замыкающее звено: z_{13}

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{13max} = z_{13min} + \sqrt{TA_2^2 + TA_6^2 + TA_7^2 + TA_8^2 + TA_{13}^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер A_2 примем по средней экономической точности IT12.

$TA_2 = 0,4\text{мм}$

Z_{13min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{13min} = 1,0 - 0,35 = 0,65\text{мм}$

$$z_{13max} = 0,65 + \sqrt{0,4^2 + 0,14^2 + 0,087^2 + 0,052^2 + 0,087^2} = 1,094\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{13cp} = \frac{z_{13max} + z_{13min}}{2} = \frac{1,094 + 0,65}{2} = 0,872\text{ мм}$$

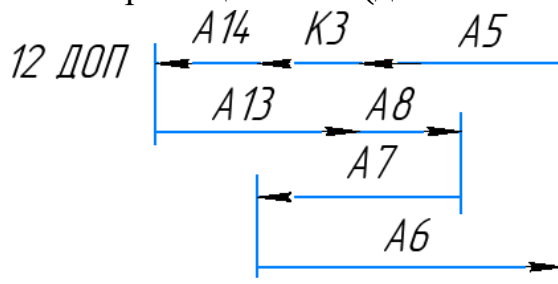
Следовательно, получаем: $z_{13cp} = A_{2cp} + A_{7cp} - A_{6cp} - A_{8cp} - A_{13cp}$

$$A_{2cp} = A_{8cp} + A_{13cp} + A_{6cp} + z_{13cp} - A_{7cp} = 22 + 111 + 111 + 0,872 - 110,3 = 134,572\text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_2 = 134,8js12(\pm 0.2)\text{мм}$$

8. Размерная цепь №12(дополнительная):



Известно: $A_{14} = K_2 = 22 \pm 0,026\text{мм}$

$A_6 = 111JS10(\pm 0.07)\text{мм}$

$A_7 = 110,3js9(\pm 0,0435)\text{мм}$

$A_8 = K_4 = 22 \pm 0,026\text{мм}$

$K_3 = 20 \pm 0,2\text{мм}$

$$A_{13} = 111 \text{js}9(\pm 0,0435) \text{ мм}$$

Найти: A_5

Замыкающее звено: K_3

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

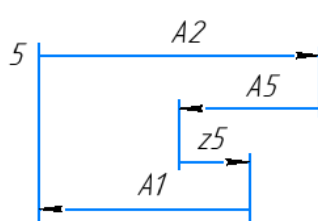
Следовательно, получаем: $K_3 = A_{13} + A_8 + A_6 - A_{14} - A_5 - A_7$

$$A_5 = A_{13} + A_8 + A_6 - A_{14} - A_7 - K_3 = 111 + 22 + 111 - 22 - 110,3 - 20 = 91,7 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A_5 = 91,8 \text{js}10(\pm 0,07) \text{ мм}$$

9. Размерная цепь №5:



Известно: $A_2 = 134,8 \text{js}12(\pm 0,2) \text{ мм}$

$A_5 = 91,8 \text{js}10(\pm 0,07) \text{ мм}$

Найти: A_1

Замыкающее звено: z_5

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{5\text{max}} = z_{5\text{min}} + \sqrt{TA_5^2 + TA_1^2 + TA_2^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер A_1 примем по средней экономической точности IT12.

$$TA_1 = 0,25 \text{ мм}$$

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

$$Z_{5\text{max}} = 1 + \sqrt{0,14^2 + 0,25^2 + 0,4^2} = 1,49204 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

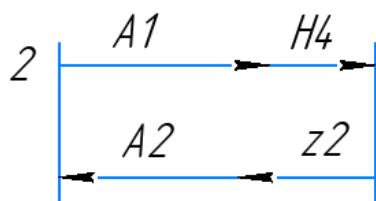
$$z_{5\text{cp}} = \frac{Z_{5\text{max}} + Z_{5\text{min}}}{2} = \frac{1,49204 + 1}{2} = 1,24602 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем: $z_{5\text{cp}} = A_{2\text{cp}} - A_{1\text{cp}} - A_{5\text{cp}}$

$$A_{1\text{cp}} = A_{2\text{cp}} - A_{5\text{cp}} - z_{5\text{cp}} = 134,8 - 91,8 + 1,24602 = 44,246 \text{ мм}$$

$$A1 = 44,3js12(\pm 0,125)\text{мм}$$

10. Размерная цепь №2:



Известно: $A1 = 44,3js12(\pm 0,125)\text{мм}$

$A2 = 134,8js12(\pm 0,2)\text{мм}$

Найти: $H4$

Замыкающее звено: $z2$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{2max} = z_{2min} + \sqrt{TH4^2 + TA1^2 + TA2^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Допуск на размер $H4$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$TH4 = 2\text{ мм}$

$Z2min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z2min = 0,4\text{ мм}$

$$z_{5max} = 0,4 + \sqrt{2^2 + 0,25^2 + 0,4^2} = 2,45487\text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{2cp} = \frac{z_{2max} + z_{2min}}{2} = \frac{2,45487 + 0,4}{2} = 1,427\text{ мм}$$

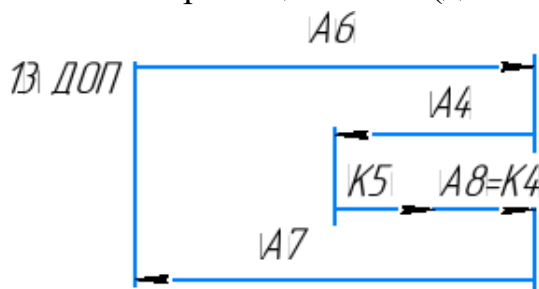
Следовательно, получаем: $z_{2cp} = A1_{cp} + H4_{cp} - A2_{cp}$

$$H4_{cp} = A2_{cp} - A1_{cp} + z_{2cp} = 134,8 - 44,3 + 1,427 = 91,927\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H4 = 91,8(\pm 1)\text{мм}$$

11. Размерная цепь №13 (дополнительная):



Известно: $A6 = 111JS10(\pm 0,07)\text{мм}$

$A7 = 110,3js9(\pm 0,0435)\text{мм}$

$A8 = K4 = 22 \pm 0,026\text{мм}$

$K5 = 15 \pm 0,2\text{мм}$

Найти: $A4$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

53

Замыкающее звено: K5

Найдем номинальный размер:

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

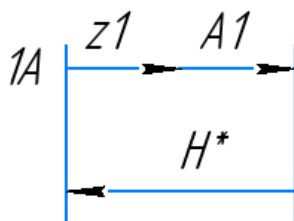
Следовательно, получаем: $K5 = A6 + A8 - A4 - A7$

$$A4 = A6 + A8 - A7 + K5 = 111 + 22 - 110 + 15 = 38 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$A4 = 38 \text{ js}12(\pm 0,125) \text{ мм}$$

12. Размерная цепь №1 А (вспомогательная):



Известно: $A1 = 44,3 \text{ js}12(\pm 0,125) \text{ мм}$

Найти: H^*

Замыкающее звено: $z1$

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{1max} = z_{1min} + \sqrt{TH^{*2} + TA1^2}$$

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».

$$TH^* = 1,4 \text{ мм}$$

$Z1min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z1min = 0,25 \text{ мм}$

$$z_{1max} = 0,25 + \sqrt{1,4^2 + 0,25^2} = 1,73661 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{1cp} = \frac{z_{1max} + z_{1min}}{2} = \frac{1,73661 + 0,25}{2} = 0,993 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем: $z_{1cp} = H^*_{cp} - A1_{cp}$

$$H^{**}_{cp} = A1_{cp} + z_{1cp} = 44,3 + 0,993 = 45,293 \text{ мм}$$

$$H^* = 45,3(\pm 0,7) \text{ мм}$$

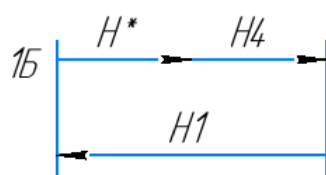
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

54

13. Размерная цепь №1Б (вспомогательная):



Известно: $H^* = 45,3(\pm 0,7)$ мм

$H_4 = 91,8(\pm 1)$ мм

Найти: H_1

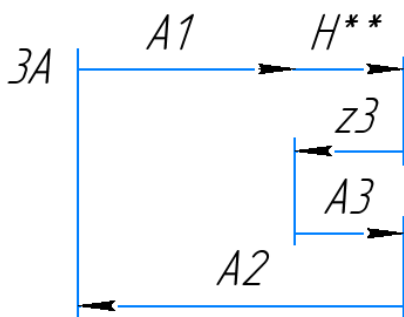
$$H_1 = H_4 + H^*$$

$$H_1 = H_4 + H^* = 91,8 + 45,3 = 137,1 \text{ мм}$$

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

$$H_1 = 137(\pm 1) \text{ мм}$$

14. Размерная цепь №3А (вспомогательная):



Известно: $A_1 = 44,3js12(\pm 0,125)$ мм

$A_3 = 21,8JS12(\pm 0,105)$ мм

$A_2 = 134,8js12(\pm 0,2)$ мм

Найти: H^{**}

Замыкающее звено: z_3

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{6max} = z_{6min} + \sqrt{TH^{**2} + TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

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

$$TH^{***} = 1,4 \text{ мм}$$

Z_{3min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_{3min} = 0,21$ мм

$$z_{3max} = 0,21 + \sqrt{1,4^2 + 0,25^2 + 0,4^2 + 0,21^2} = 1,70218 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{3cp} = \frac{z_{3max} + z_{3min}}{2} = \frac{1,70218 + 0,21}{2} = 0,9560 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем: $z_{3cp} = A_{3cp} + A_{1cp} + H^{**}_{cp} - A_{2cp}$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

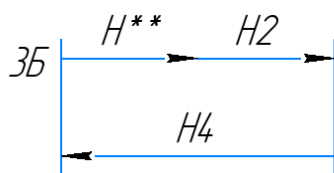
55

$$H^{**} = A2_{\text{ср}} - A1_{\text{ср}} - A3_{\text{ср}} - z_{6\text{ср}} = 134,8 - 44,3 - 21,8 - 0,95609 \\ = 67,744\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{**} = 67,8(\pm 0,7)\text{мм}$$

15. Размерная цепь №3Б (вспомогательная):



Известно: $H^{**} = 67,8(\pm 0,7)\text{мм}$

$$H4 = 91,8(\pm 1)\text{мм}$$

Найти: $H2$

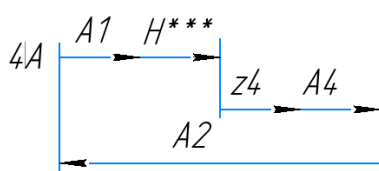
$$H4 = H2 + H^{**}$$

$$H2 = H4 - H^{**} = 91,8 - 67,8 = 24\text{мм}$$

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

$$H2 = 24(\pm 0,6)\text{мм}$$

16. Размерная цепь №4А (вспомогательная):



Известно: $A1 = 44,3js12(\pm 0,125)\text{мм}$

$$A2 = 134,8js12(\pm 0,2)\text{мм} \quad A4 = 38js12(\pm 0,125)\text{мм}$$

Найти: H^{***}

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{4\text{max}} = z_{4\text{min}} + \sqrt{TH^{***2} + TA1^2 + TA2^2 + TA4^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

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

$$TH^{***} = 1,4\text{ мм}$$

$$Z_{4\text{min}} \text{ примем по ОСТ 1.41512-86, } Z_{4\text{min}} = 0,21\text{мм}$$

$$z_{3\text{max}} = 0,25 + \sqrt{1,4^2 + 0,25^2 + 0,4^2 + 0,25^2} = 1,74833\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

					КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		56

$$z_{4cp} = \frac{z_{4max} + z_{4min}}{2} = \frac{1,74833 + 0,25}{2} = 0,999\text{мм}$$

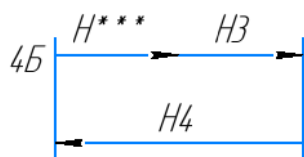
Следовательно, получаем: $z_{4cp} = A_{4cp} + A_{1cp} + H_{cp}^{***} - A_{2cp}$

$$H^{***} = A_{2cp} - A_{1cp} - A_{4cp} - z_{4cp} = 134,8 - 44,3 - 38 - 0,999 = 51,501\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{***} = 51,5(\pm 0,7)\text{мм}$$

17. Размерная цепь №4Б (вспомогательная):



Известно: $H^{***} = 51,5(\pm 0,7)\text{мм}$

$$H_4 = 91,8(\pm 1)\text{мм}$$

Найти: H_3

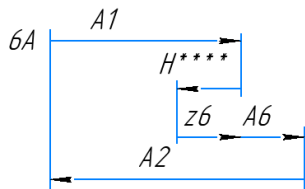
$$H_4 = H_3 + H^{***}$$

$$H_3 = H_4 - H^{***} = 91,8 - 51,5 = 40,3\text{мм}$$

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

$$H_3 = 40,3(\pm 0,8)\text{мм}$$

18. Размерная цепь №6А (вспомогательная):



Известно: $A_1 = 44,3js12(\pm 0,125)\text{мм}$

$$A_2 = 134,8js12(\pm 0,2)\text{мм} \quad A_6 = 111JS10(\pm 0,07)\text{мм}$$

Найти: H^{****}

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{6max} = z_{6min} + \sqrt{TH^{****2} + TA_1^2 + TA_2^2 + TA_6^2}$$

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».

$$TH^{****} = 1,4\text{ мм}$$

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

$$z_{6max} = 0,35 + \sqrt{1,4^2 + 0,25^2 + 0,4^2 + 0,14^2} = 1,83395\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{6cp} = \frac{z_{6max} + z_{6min}}{2} = \frac{1,83395 + 0,35}{2} = 1,091975 \text{ мм}$$

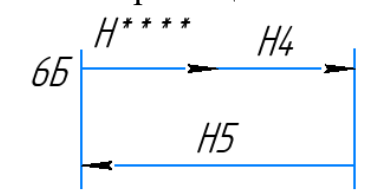
Следовательно, получаем: $z_{6cp} = A_{6cp} + A_{1cp} - H^{****}_{cp} - A_{2cp}$

$$H^{****} = A_{6cp} + A_{1cp} - A_{6cp} - z_{6cp} = 111 + 44,3 - 134,8 - 1,091975 = 19,4080 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$H^{****} = 19,4(\pm 0,7) \text{ мм}$$

19. Размерная цепь №6Б (вспомогательная):



Известно: $H^{****} = 19,4(\pm 0,7) \text{ мм}$

$H4 = 91,8(\pm 1) \text{ мм}$

Найти: $H5$

$$H5 = H4 + H^{****}$$

$$H5 = 91,8 + 19,4 = 111,2 \text{ мм}$$

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

$$H5 = 111,3(\pm 1) \text{ мм}$$

Таблица 14 – Осевые операционные размеры и припуски

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Zmin	Zmax	Zcp	Метод расчета припуска
A18=K9	A18=K9=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска			
A17=K8	A17=K8=6(±0,2)мм	Получается за счет напуска			
A16=K7	A16=K7=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска			
A15=K6	A15=K6=10(±0,2) мм	Получается за счет напуска			
A14=K2	A14=K2=22±0,026мм	0,79	0,933	0,86	вероятностный
A13	A13=111js9(±0,0435)мм	0,65	1,094	0,872	вероятностный

A12=K13	A12=K13=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска			
A11=K12	A11=K12=6(±0,2)мм	Получается за счет напуска			
A10=K11	A10=K11=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска			
A9=K10	A9=K10=10(±0,2) мм	Получается за счет напуска			
A8=K4	A8=K4=22±0,026мм	0,79	1,06	0,925	вероятностный
A7	A7=110,3js9(±0,0435)	0,65	0,814	0,732	вероятностный
A6	A6=111JS10(±0.07)мм	0,21	1,8339	1,09197 5	вероятностный
A5	A5=91,8js10(±0,07)мм	1	1,4920 4	1,24602	вероятностный
A4	A4=38js12(±0,125)мм	0,21	1,7483 3	0,999	вероятностный
A3	A3=21,8JS12(±0.105)мм	0,21	1,7021	0,956	вероятностный
A2	A2=134,8js12(±0.2)мм	0,4	2,454	1,427	вероятностный
A1	A1=44,3js12(±0,125)мм	0,25	1,736	0,993	вероятностный
H5	H5=111,3(±1)мм	-	-	-	-
H4	H4=91,8(±1)мм	-	-	-	-
H3	H3=40,3(±0,8)мм	-	-	-	-
H2	H2=24(±0,6)мм	-	-	-	-
H1	H1=137(±1)мм	-	-	-	-

Таблица 15 – Достижение заданной точности осевых размеров

В рабочем чертеже	Как выдерживается в технологическом процессе	Как заданы операционные допуски
K1=133(±0,0105)мм	Как замыкающее звено цепи №11 (вероятностный) $T_{K1} \geq \sqrt{TA13^2 + TA8^2}$	В пределах экономической точности чистовой обработки по 9 качеству TA13=0,087, TA8=0,052 A13 межоперационный размер A8 внутриоперационный размер
K2=22±0,026мм	Непосредственно чистовым точением A14=K2	A14=K2=22±0,026мм мм – внутриоперационный размер

K3=20±0,2мм	Как замыкающее звено цепи №12 (вероятностный) $T_{K3} \geq \sqrt{TA14^2 + TA8^2 + TA5^2}$	В пределах экономической точности чистовой обработки по 9 и 10 качеству · TA5=0,14мм, TA6=0,14мм, TA13=0,087мм, TA14=0,052мм
K4=22±0,026мм	Непосредственно чистовым подрезанием торца $A8 = K4 = 22 \pm 0,026\text{мм}$	A8=K4=22±0,026мм – внутриоперационный размер
K5=15±0,2мм	Как замыкающее звено цепи №13 (вероятностный) $T_{K5} \geq \sqrt{TA4^2 + TA6^2 + TA7^2}$	По среднеэкономической точности обработки по 9 качеству TA7=0,087мм межоперационный
K6=10(±0,2) мм	Непосредственно чистовым точением A15=K6=10(±0,2) мм	Получается за счет напуска
K7=4,7H13 ^(0,18) мм	Непосредственно чистовым точением A16=K7=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска
K8=6(±0,2)мм	Непосредственно чистовым точением A17=K8=6(±0,2)мм	Получается за счет напуска
K9=4,7H13 ^(0,18) мм	Непосредственно чистовым точением A18=K9=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска
K10=10(±0,2) мм	Непосредственно чистовым точением A9=K10=10(±0,2) мм	Получается за счет напуска
K11=4,7H13 ^(0,18) мм	Непосредственно чистовым точением A10=K11=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска
K12=6(±0,2)мм	Непосредственно чистовым точением A11=K12=6(±0,2)мм	Получается за счет напуска
K13=4,7H13 ^(0,18) мм	Непосредственно чистовым точением K13=4,7H13 ^(0,18) мм	Получается за счет напуска

В процессе решения размерных цепей были уточнены некоторые размеры и их допуски. В качестве доработки были изменены этапы обработки и пересмотрены операции с целью повышения технологичности рассматриваемой детали.

В результате был разработан оптимальный план обработки, который характеризуется минимальным операционным припуском, минимальным количеством обрабатываемых поверхностей, переходов и проходов в каждой операции. Также были обеспечены заданные конструктором размеры, которые совпали с межоперационными и внутриоперационными размерами. Кроме того, операционные размеры были получены в пределах средней экономической точности.

2.6 Эскиз совмещенных переходов диаметральных цепей и их расчет

ЭСП диаметральных размеров составляется по ходу 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.

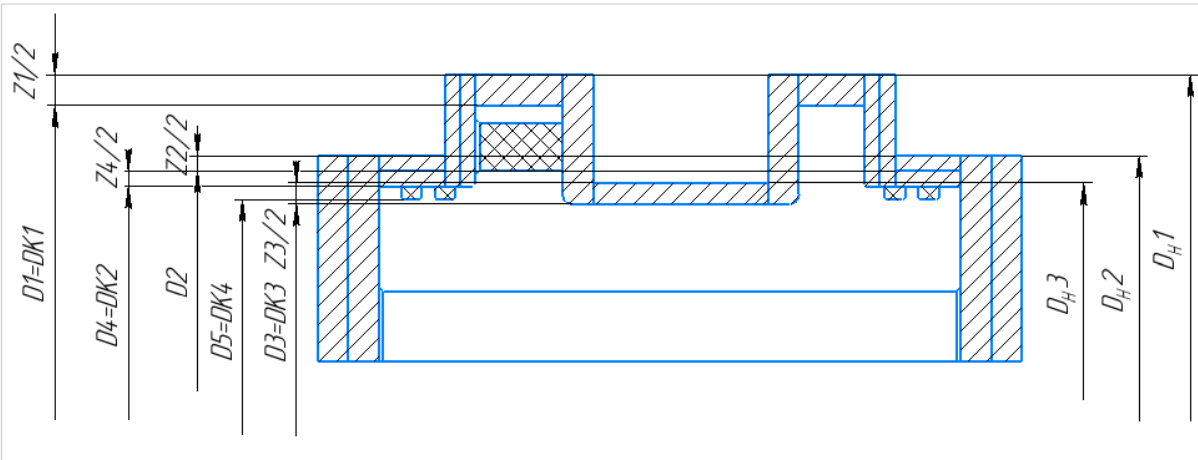
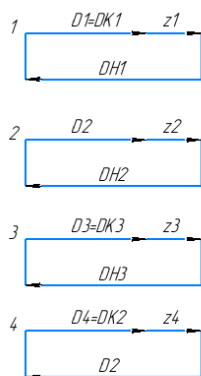


Рис. 25 Эскиз совмещенных переходов диаметральных размеров

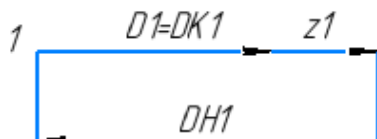


N	N цепи	Замыкающее звено	Определяемые размеры
1	1	z1	DH1
2	3	z3	DH3
3	4	z4	D2
4	2	z2	DH2

Рис. 26 Диаметральные размерные цепи и порядок их решения

2.7 Решение диаметральных размерных цепей

1. Размерная цепь №1:



Известно: $D1=DK1=117(\pm 0,2)$ мм;

Найти: $DH1$, $TH1$

Замыкающее звено: $z1$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{1\text{max}} = z_{1\text{min}} + \sqrt{TD1^2 + T\phi 9^2}$$

Допуск на размер $D1$ примем по средней экономической точности IT12.

$TD1=0,4$ мм

Допуск на размер $DH1$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$T_{DH1}=2$ мм

$Z1\text{min}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z1\text{min}=2,5$ мм

$$z_{1\text{max}} = 2,5 + \sqrt{0,4^2 + 2^2} = 4,53 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

62

$$z_{1cp} = \frac{z_{1max} + z_{1min}}{2} = \frac{4,53 + 2,5}{2} = 3,5\text{мм}$$

Следовательно, получаем:

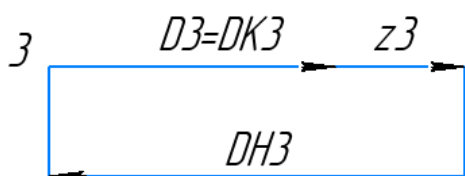
$$z_{1cp} = DH1_{cp} - D1_{cp}$$

$$DH1_{cp} = D1_{cp} + z_{1cp} = 117 + 3,5 = 120,5\text{мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$DH1 = 120,5(\pm 1)\text{мм}$$

2. Размерная цепь №3:



Известно: $D3=DK3=72(\pm 0,2)\text{мм}$;

Найти: $TDH3$, $DH3$

Замыкающее звено: $z3$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{3max} = z_{3min} + \sqrt{TD3^2 + TDK3^2}$$

Допуск на размер $D3$ примем по средней экономической точности IT12.

$$TD3=0,3\text{мм}$$

Допуск на размер $DH3$ примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$TDH3=1,8\text{ мм}$$

$Z3min$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z3min=2,2\text{ мм}$

$$z_{3max} = 2,2 + \sqrt{0,4^2 + 1,8^2} = 4,043\text{мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{3cp} = \frac{z_{3max} + z_{3min}}{2} = \frac{4,043 + 2,2}{2} = 3,1215\text{мм}$$

Следовательно, получаем:

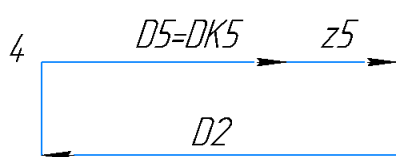
$$z_{3cp} = DH3_{cp} - D3_{cp}$$

$$DH3_{cp} = D3_{cp} + z3_{cp} = 72 + 3,1215 = 75,1215 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$DH3 = 75,1(\pm 0,9) \text{ мм}$$

3. Размерная цепь №4:



Известно: $D5=DK5=80f7\begin{pmatrix} -0,03 \\ -0,06 \end{pmatrix} \text{ мм}$;

Найти: $D2$, T_{D2}

Замыкающее звено: $z5$

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z5_{max} = z5_{min} + \sqrt{TD5^2 + TD2^2}$$

Допуск на размер $D2$ примем по средней экономической точности IT9.

$$T_{D2}=0,074 \text{ мм}$$

$Z5_{min}$ примем по ОСТ 1.41512-86, $Z7_{min}=0,9-0,3=0,6 \text{ мм}$

$$z5_{max} = 0,6 + \sqrt{0,12^2 + 0,074^2} = 0,7409 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z5_{cp} = \frac{z5_{max} + z5_{min}}{2} = \frac{0,7409 + 0,6}{2} = 0,67045 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

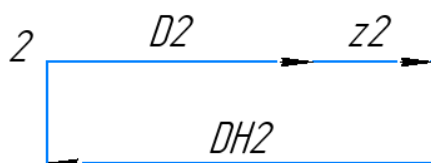
$$z5_{cp} = D2_{cp} - D5_{cp}$$

$$D2 = D5_{cp} + z5_{cp} = 80 + 0,67 = 80,67 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$D2 = 80,1js9(\pm 0,037) \text{ мм}$$

4. Размерная цепь №2:



Известно: $D2 = 80,1js9(\pm 0,037) \text{ мм}$

Найти: $DH2$, T_{DH2}

Замыкающее звено: $z2$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2024.2011128.000 ПЗ

Лист

64

Используем вероятностный метод.

Решим размерную цепь способом средних значений:

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

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{2\text{max}} = z_{2\text{min}} + \sqrt{TD2^2 + TDH2^2}$$

Допуск на размер DH2 примем по ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

$$TDH2 = 1,8 \text{ мм}$$

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

$$z_{2\text{max}} = 2,2 + \sqrt{1,8^2 + 0,074^2} = 4,001 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{2\text{cp}} = \frac{z_{2\text{max}} + z_{2\text{min}}}{2} = \frac{2,2 + 4,001}{2} = 3,1005 \text{ мм}$$

Следовательно, получаем:

$$z_{2\text{cp}} = DH2_{\text{cp}} - D2_{\text{cp}}$$

$$DH2_{\text{cp}} = D2_{\text{cp}} + z_{2\text{cp}} = 80,1 + 3,1005 = 83,2005 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего.

$$DH2 = 83,2(\pm 0,9) \text{ мм}$$

Таблица 16 – Диаметральные операционные размеры и припуски

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Zmin	Zmax	Zcp	Метод расчета припуска
D5 = DK5	D5=DK5=80f7(^{-0,03} _{-0,06})мм	0,6	0,7409	0,67045	вероятностный
DK4	DK4 = 74h9(_{-0,074})мм	Получается за счет напуска			
D3	D3=DK3=72(±0,2)мм	2,2	4,043	3,1215	вероятностный
D2	D2 = 80,1js9(±0,037)мм	2,2	4,001	3,1005	вероятностный
D1=DK1	D1=DK1=117(±0,2)мм	2,5	4,53	3,5	вероятностный

DH3	DH3 = 75,1(±0,9)мм	-	-	-	-
DH2	DH2 = 83,2(±0,9)мм	-	-	-	-
DH1	DH1 = 120,5(±1)мм	-	-	-	-

2.8 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 17 – Сравнение результатов предварительного и уточнённого расчетов

№ п/п	Предварительный расчет (по ГОСТ Р 53464-2009)	Уточненный расчет	Результаты сравнения
H1	137(±1)мм	137(±1)мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 2%)
H2	24(±0,6)мм	24(±0,6)мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу(разница составляет менее 2%)
H3	41(±0,7)мм	40,3(±0,8)мм	Уменьшение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную цепь (разница составляет менее 4%)
H4	93(±0,9)мм	91,8(±1)мм	Уменьшение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную цепь(разница составляет менее 4%)
H5	113(±1)мм	111,3(±1)мм	Увеличение припуска произошло из за того что, данный размер входит в многозвенную

			цепь(разница составляет менее 4%)
ØН1	121(±1)мм	120,5(±1)мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 1%)
ØН2	84,5(±0,9)мм	83,2(±0,9)мм	Увеличение припуска произошло из-за того что, размеры, которые входят в цепь находились вероятностным методом (разница составляет менее 5%)
ØН3	75,4(±0,55)мм	75,1(±0,9)мм	Результаты расчетов имеют не большую разницу (разница составляет менее 2%)

Размеры Н2, Н4 и Н5 зависят от припусков на черновую и чистовую обработку. В данном технологическом процессе они участвуют в многозвенной цепи. Уменьшить припуск можно путём изменения плана обработки.

Увеличение расчётных припусков у размеров ØН2 может быть связано с тем, что при расчёте цепей, в которые входят эти размеры, минимальный припуск определялся расчётно-аналитическим методом. Все данные, которые входят в расчёт, являются статистическими и могут быть устаревшими из-за усовершенствования технологий литья и механообработки.

В целом расхождения по каждому из размеров не превышают 5 %. Поэтому нахождение начальных размеров заготовки можно проводить с помощью ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов» и не проводить уточнённый расчёт. [3]

Однако уточнённый расчёт чаще всего минимизирует припуски и тем самым уменьшает расход материала.

2.9 Расчет режимов резания

Для определения оптимальных режимов резания для наиболее нагруженного технологического перехода, который характеризуется

максимальным припуском на обработку, будут использованы различные методические подходы.

Одним из таких подходов станет использование классической технической литературы.

1. Подрезка торца

По карте 2 [11, стр. 37] определяем минимально необходимую глубину резания: $t=1,3$ мм.

Для подрезки торца выбираем токарный резец Т5К10.

По карте 4 [11, стр. 40] выбираем подачу: $S_{OT}=0,27$ мм/об. Поправочный коэффициент на подачу в зависимости от инструментального материала: $K_{Si}=1,15$

Окончательную подачу определяют по формуле:

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

По карте 21 [11, стр. 73] выбираем рекомендуемые значения скорости резания: $V_T=210$ м/мин. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от инструментального материала $K_{Vi}=0,85$

Окончательно скорость резания определяют по формуле:

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

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 [11, стр. 73] выбираем мощность резания $N_T=6,3$ кВт и по карте 24 [11, стр. 85] поправочный коэффициент по мощности в зависимости от твердости обрабатываемого материала: $K_{Nm}=0,8$.

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:

$$T_0=\frac{L_1+L_2+L}{n*S_0}=\frac{3+5+20}{1538,2*0,3105}=0,06\text{мин}$$

Значения L_1 и L_2 приведены в табл.2, с.620 [12]

Вспомогательное время, к которому относится, затрачиваемое на установку, выверку и снятие заготовки ([13], табл. 22П), на рабочий ход ([13], табл. 23П), на выполнение измерений в процессе обработки ([13], табл. 24П).

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

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

Выбор смазочно-охлаждающего жидкости (СОЖ).

Согласно табл.24, с.233 [14] для проведенных выше условий рекомендуется 2-5% НГЛ–205

2.10 Выбор технологического оборудования

В качестве основного металлорежущего оборудования на операцию 010, 015 и 020 выбран Токарно-фрезерный станок с ЧПУ Taisun Seiki Accurate EX 2000 [15].

Наличие фрезерной функции, оси Y и противопинделя позволяет изготавливать сложные детали без дополнительных операций. Компактная конструкция и высокая скорость перемещения способствуют достижению высокой производительности.

Высокоточные сервоприводы обеспечивают быстрое и точное позиционирование и повторяемость.

В таблице 18 показаны основные характеристики станка Taisun Seiki Accurate EX 2000, на рисунке 27 изображен станок. [15]



Рис. 27 Модель станка

Таблица 18 – Технические характеристики Taisun Seiki Accurate EX 2000

Технические характеристики	EX 2000
Основные характеристики	
Мах Ø прутка, мм	65
Мах длина обработки, мм	50
Мах Ø точения, мм	800
Система ЧПУ	Fanuc
Направляющие	качения
Перемещение по оси X/Y/Z, мм	250/±50/570
Мах Ø над суппортом, мм	390
Мах устан. Ø над станиной, мм	800
Главный шпиндель	
Ø проходного отверстия, мм	76
Фланец шпинделя	A2-6
Мощность привода основного шпинделя, кВт	11/15
Частота вращения шпинделя, об/мин	4500
Ø патрона, дюймов	8
Ø подшипника, мм	110
Револьверная головка	
Тип крепления	BMT 60

Мощность приводного инструмента, кВт	3,7/5,5
Мах Ø хвостовика осевого инструмента, мм	40
Сечение державки инструмента, мм	25x25
Количество позиций инструмента, шт	12
Скорость вращения приводного инструмента, об/мин	4000
Противошпиндель	
Скорость вращения контршпинделя, об/мин	5000
Мощность двигателя противошпинделя (пост./30 мин.), кВт	11/15
Ø патрона, дюймов	6
Общие данные	
Вес, кг	5900
Размер (длина/ширина/высота), мм	3370/1940/1800

2.11 Выбор контрольно-измерительных средств

Для контроля параметров детали будут использованы следующие средства измерений: [16]

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель выпускной квалификационной работы состояла в разработке технологического процесса изготовления готового изделия на основе чертежа детали и особенностей производства.

Для достижения этой цели были применены все ранее приобретённые навыки конструктивного анализа деталей, работы с нормативно-технической документацией (ЕСКД, ЕСТД), проектирования технологической оснастки, а также знания в области материаловедения и выполнения различных инженерных расчётов.

В процессе разработки технологии получения отливки и проектирования пресс-формы было проведено детальное изучение соответствующих государственных стандартов, которые подробно описывают каждый этап технологического процесса.

Для организации серийного производства был выбран вариант ручной пресс-формы. При ее конструировании использовались специальные технические источники, государственные стандарты и другая нормативная документация. Отличительной особенностью спроектированной пресс-формы является возможность оперативной замены матриц, формирующих полость отливки, что существенно упрощает переналадку оборудования при частой смене номенклатуры выпускаемых деталей. Данное конструктивное решение является рациональным для обеспечения серийного производства.

В разделе, посвященном проектированию литейной технологии, были выполнены расчеты основных геометрических параметров литниково-питающей системы. Вместе с тем, ввиду учебного характера данной работы, ряд конструктивных особенностей был упрощен по сравнению с требованиями, предъявляемыми к реальным производственным процессам.

Выбор ручной пресс-формы в качестве основного технологического оснащения обусловлен необходимостью обеспечения гибкости производства и возможности оперативного переналаживания оборудования. Данное

решение соответствует специфике серийного изготовления деталей с частой сменой номенклатуры.

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

Применение современного программного обеспечения для имитационного моделирования литейного процесса позволило всесторонне оценить работоспособность спроектированной конструкции литниково-питающей системы. Виртуальное моделирование охватывало весь цикл заливки формы расплавом, затвердевание отливки, а также анализ возможных дефектов, таких как усадочные раковины и газовые поры.

Таким образом, использование современных программных средств моделирования позволило всесторонне исследовать разработанную литейную технологию, выявить ее слабые стороны и определить направления дальнейшей оптимизации, что является важным этапом проектирования технологического процесса.

Кроме того, в ходе работы 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 purpose of the final qualifying work was to develop a technological process for manufacturing the finished product based on the drawing of the part and production features.

To achieve this goal, 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 applied.

In the process of developing the technology for obtaining a casting and designing a mold, a detailed study of the relevant state standards was carried out, which describe in detail each stage of the technological process.

To organize mass production, the option of a manual mold was chosen. During its design, special technical sources, state standards and other regulatory documentation were used. A distinctive feature of the designed mold is the ability to quickly replace the matrices that form the casting cavity, which significantly simplifies the readjustment of equipment when the range of manufactured parts is frequently changed. This design solution is rational for 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. At the same time, due to the educational nature of this work, a number of design features were simplified in comparison with the requirements for real production processes.

The choice of a manual mold as the main technological equipment is due to the need to ensure production flexibility and the ability to quickly re-adjust equipment. This solution corresponds to the specifics of serial production of parts with frequent changes in nomenclature.

The main task of the profile part of the work was to master the methods and methods of designing the technological process of foundry production. In order 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 use of modern software for simulation of the foundry process made it possible to comprehensively assess the performance of the designed design of the gating-feeding system. Virtual simulation covered the entire cycle of pouring the mold with the melt, solidification of the casting, as well as analysis of possible defects, such as shrinkage cavities and gas pores.

Thus, the use of modern modeling software made it possible to comprehensively study the developed foundry technology, identify its weaknesses and determine directions for further optimization, which is an important stage in the design of the technological process.

In addition, during the work, a sketch of combined technological transitions was developed, axial and diametrical dimensional chains were constructed, and their subsequent solution was constructed. 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. ОСТ 1 90090-79 Отливки фасонные из высоколегированной стали со специальными свойствами
3. ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку»
4. ГОСТ 3212-92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров»
5. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. М., «Машиностроение», 1974, 472с.
6. 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.
7. 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
8. 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>

9. Подготовка печи к плавке, Загрузка шихты [Электронный ресурс]
Сайт Студенческая библиотека онлайн – Форма доступа:
https://studbooks.net/1603963/tovarovedenie/podgotovka_pechi_plavke

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

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

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

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

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

15. Высокоточный токарно-фрезерный станок с ЧПУ TAISUN SEIKI ACCURATE EX 2000 [Электронный ресурс] Сайт POLITEK (ПОЛИТЕК) – поставка металлообрабатывающих станков с ЧПУ и разработка технологий для машиностроительных предприятий – Форма доступа: <https://politek-service.ru/product/taisun-seiki-accurate-ex-2000/>

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

17. 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>

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