



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

**КАФЕДРА «Проектирование и технический сервис транспортно-
технологических систем»**

Методические указания

по выполнению курсового проекта

**по дисциплине «Технология производства наземных транспортно-
технологических систем»**

Ростов-на-Дону

2022 г.

Составители: доцент кафедры «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем», к.т.н. Дорошенко А.А., ассистент кафедры «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем» Бабенко О.С.

Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Технология производства наземных транспортно-технологических систем». ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, 2022 г.

В методических указаниях кратко изложены содержание и рекомендации по выполнению разделов курсового проекта) по дисциплине «Технология производства наземных транспортно-технологических систем».

Предназначено для обучающихся очной и заочной форм обучения по направлению 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства.

Ответственный за выпуск:

Зав. кафедрой «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем», д.т.н., проф., Кравченко Л.В.

Содержание

1 Основные положения по выполнению курсового проекта	4
1.1 Цели, задачи курсового проекта	4
1.2 Тематика курсового проекта	4
1.3 Ориентировочное содержание курсового проекта	6
1.4 Указания по выполнению графической части курсового проекта	7
1.5 Пример выполнения курсового проекта	8
2 Служебное назначение и конструктивно-технические особенности изделия (СЕ и ее основных деталей)	8
3 Технологический процесс изготовления детали, заданной в проекте	10
3.1 Выбор варианта получения заготовки для детали	10
3.2 Формирование операций механической и химико-термической обработок	13
3.3 Расчет размеров заготовки с учетом припусков на обработку резанием и формоизменяющих операций	17
4 Качественный анализ и количественная оценка технологичности объекта проектирования	19
4.1 Деталь, заданная в проекте	20
4.2 Сборочная единица и изделие в целом	26
5 Обеспечение точности сборки и взаимозаменяемости деталей в СЕ	34
6. Технология сборочных работ	38
6.1 Составление вариантов схем сборки заданной СЕ или изделия в целом	38
6.2 Проектирование операций сборки	41
6.3 Определение типа производства и его организации	43
7 Технология нанесения защитно-декоративных покрытий	46
8 Методы и средства контроля изготовления деталей и проведения сборочных работ	47
9 Предложения о повышении технологичности объекта проектирования	49
Перечень использованных информационных ресурсов	51

1 Основные положения по выполнению курсового проекта

1.1 Цели, задачи курсового проекта

В процессе изучения производства сельскохозяйственных машин и оборудования студент выполняет курсовой проект по технологии сельскохозяйственного машиностроения (ТСХМ) и технологическую часть дипломного проекта.

Целью курсового проекта является:

- развитие навыков самостоятельной работы при проектировании рациональных технологических процессов изготовления деталей и сборке сборочных единиц (СЕ);
- закрепление знаний, полученных во время технологической практики и при изучении курса ТСХМ;
- развитие способностей оценивать конструкции деталей и СЕ с позиций технологичности и норм точности в соответствии с их служебным назначением;
- подготовка к выполнению дипломного проекта.

1.2 Тематика курсового проекта











Темы курсовых проектов должны опираться на конкретные задачи, решаемые инженером-технологом в сборочном и механическом цехах. В качестве примера можно рекомендовать следующие темы:

- «Разработать технологическую схему сборки активного шкива вариатора привода мотвила жатки зерноуборочного комбайна и механической обработки детали – диск».
- «Разработать технологическую схему сборки опорного колеса культиватора и механической обработки детали - ступица колеса».

Предпочтение отдается темам, которые можно использовать для внедрения в производство или учебный процесс, или имеющим научно-исследовательский характер.

Чаще всего курсовой проект является продолжением и развитием работ, начатых студентом в ходе технологической практики. Задание на курсовой проект утверждается заведующим кафедрой «ПиТСТТС». Перечень исходных данных для выполнения курсовых проектов по вариантам представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные для выполнения курсового проекта по вариантам

№ варианта	Ссылка на скачивание чертежа задания	№ варианта	Ссылка на скачивание чертежа задания
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Технологическая часть дипломного проекта основывается на учебной дисциплине «Технологии производства наземных транспортно-технологических систем», курсовом проекте по данной дисциплине и преддипломной практике. В этой части студент должен подтвердить умение применять полученные знания при решении задач, связанных с подготовкой, организацией и реализацией процесса производства одной из сельскохозяйственных машин или модернизированной СЕ этой машины. В выполненной работе должны найти отражение вопросы по обеспечению точности сборки, комплексной механизации и автоматизации заводского производства, использование современных материалов, оборудования, оснастки и инструмента.

1.3 Ориентировочное содержание курсового проекта

Курсовой проект по «Технологии производства наземных транспортно-технологических систем» является технологической частью дипломного проекта. Данный курсовой проект включает пояснительную записку и графическую часть. Пояснительная записка составляется в следующей последовательности:

- Служебное назначение и конструктивно-технологические особенности заданной СЕ и ее основных деталей;
- Технические требования и нормы точности, предъявляемые к объекту разработки;
- Выбор варианта получения заготовки для заданной детали;
- Формирование операций механической и химико-термической обработок заданной детали;
- Расчет размеров заготовки с учетом припусков на механическую обработку и формоизменяющих операций;
- Качественный анализ и количественная оценка технологичности заданной детали;
- Составление вариантов схем сборки СЕ. Анализ конкурирующих вариантов;
- Проектирование сборочных операций с ориентацией на крупносерийное производство;
- Методы и средства контроля изготовления деталей;
- Предложения о повышении технологичности заданных в проекте детали и СЕ;
- Перечень использованных информационных ресурсов;
- Приложения (в том числе спецификации);

Пояснительная записка должна быть краткой, но последовательно отражать все разделы, перечисленные ранее. Для иллюстрации излагаемого материала нужно приводить графики, схемы, эскизы, таблицы и фотографии.

Расчеты должны сопровождаться ссылками на источники, в том числе литературу, из которых заимствованы формулы, коэффициенты, физико-механические свойства материалов и другие данные.

Пояснительная записка должна дополнять то, что представлено на эскизах и чертежах, а не пересказывать этот материал. Например, поясняя операцию механической обработки, мало сказать, что она выполняется на каком-то станке и в качестве установочной базы используется какая-то поверхность. Все это видно из эскиза. Важно объяснить, почему выбраны этот станок или базовая поверхность. Этот принцип должен быть выдержан по всей записке.

Перечень использованных информационных источников должен включать только те источники, которые использованы при работе над проектом.

1.4 Указания по выполнению графической части курсового проекта

Графическая часть курсового проекта выполняется на четырех предметных листах:

- Сборочный чертёж рассматриваемой сборочной единицы;
- Технологическая схема сборки рассматриваемой сборочной единицы;
- Эскизы сборочных операций рассматриваемой сборочной единицы;
- Технологическая схема механической обработки детали, входящей в состав рассматриваемой сборочной единицы.

Графическая часть курсового проекта выполняется в соответствии с ЕСКД на листах формата А1 (841x597). Базирующие поверхности и приспособления в каждой установке показывают условными обозначениями (ГОСТ 3.1107-81), а обработанные на данной операции (переходе) поверхности следует выделять цветом или толщиной линии. На эскизах обязательно указываются: инструмент в конце своего рабочего хода; характер и направление движения инструмента и заготовки; размеры и шероховатость после каждой из обработок. Некоторые подробности конструкции детали (не связанные с обработкой, базированием, закреплением) можно опустить. По каждому технологическому переходу указывают режимы резания (глубина, скорость резания, подача), ориентируясь на справочные данные [1].

В материалах, отражающих технологические процессы сборки, необходимо учесть все операции сборки и контроля, включая транспортирование, мойку, балансировку, консервацию и т.д. В комментариях к вариантам схем сборки необходимо указывать особенности соединения деталей, оборудование и режим сварки, способы центрирования, усилие затяжки резьбового соединения, характер посадки подшипников и т.д. Для наглядности допускается отображать цветным карандашом элементы, присоединяемые в каждой операции.

Эскизы наладок и сборочных операций должны сопровождаться описанием, в котором содержится название операций и технологического перехода, данные о средствах технологического оснащения, оперативное время.

1.5 Пример выполнения курсового проекта

Пример выполнения курсового проекта по тематике «Разработка технологического процесса сборки днище бункера в сборе зернотуковой сеялки и механической обработки детали – подшипник» представлен по ссылке (рисунок 1.1). Представленные по ссылке материалы служат в роли ознакомления со структурой, содержанием и правилам оформления отчёта и графического материала согласно требованиям ЕСКД. Также в образце представлены титульные листы и пример их заполнения.



Рисунок 1.1 – Ссылка на материалы образца курсового проекта

2 Служебное назначение и конструктивно-технические особенности изделия (СЕ и ее основных деталей)

Пояснительная записка начинается введением, основное содержание которого регламентируется ГОСТ 2.106-2019. Введение обязательно должно быть логически связано с темой проекта, обоснованием ее важности и актуальности.

В введении необходимо отметить особенности сельскохозяйственных машин, оказывающих влияние на характер их изготовления, требования к надежности, взаимозаменяемости, унификации, защите поверхностного слоя деталей. Следует показать, за счет каких мероприятий можно повысить качество и точность изготовления продукции без значительного повышения ее себестоимости.

Под служебным назначением понимают цель, для достижения которой используется изделие. Здесь же необходимо указать все дополнительные условия и требования, которые конкретизируют служебное назначение:

передаваемая энергия; надежность; подверженность абразивному износу; требования к внешнему виду; безопасности работы; удобству обслуживания и ремонта; коэффициенту полезного действия; необходимости смазки. При этом необходимо стремиться к количественному выражению этих характеристик с учетом допусков на них. Могут приводиться и качественные показатели.

При описании конструкции проектируемого объекта используются его чертеж и спецификация. Указывается состав, взаимная фиксация и расположение частей изделия. Необходимо показать, как взаимодействуют эти части при выполнении своего служебного назначения, каким образом выполняются возможные регулировки. Одновременно следует указывать функциональное назначение деталей изделия, что в дальнейшем позволит оценить их технологичность. Для этого предварительно поверхности заданной детали нумеруются и выделяются те из них, которые имеют решающее значение для выполнения своего служебного назначения. После этого дается краткое описание условий работы детали и заключение о правильности выбора конструктором материала и возможности его замены [9]. Кроме этого проектант может предложить техническое решение по снижению материалоемкости детали, например, за счет применения калиброванного проката вместо горячекатаного, использования наплавки на отдельных поверхностях детали и т.д.

Далее следует проанализировать технические требования и нормы точности, предъявляемые к объекту разработки. Обычно технические требования имеют описательный характер. *Например:*

- Звездочка должна свободно и плавно вращаться от руки.
- Лопасти вентилятора не должны задевать его кожух.

Нормы точности выражаются количественно. *Например:*

- Момент затяжки гайки М 14 в пределах 80-90 Нм.
- Радиальное биение зубьев звездочки не должно превышать 0,5 мм и

т.д.

Связь технических условий и служебного назначения основывается на:

- существовании аналитических зависимостей;
- экспериментальных исследованиях;
- суждениях логического характера, вытекающих из опыта конструирования и эксплуатации аналогичных изделий;
- общепринятых, традиционных решениях, вытекающих из требований технической эстетики, конкурентной способности изделий и т.п.

При описании вышеуказанных связей проектант должен подробно указывать последствия, к которым может привести невыполнение какого-либо технического условия. *Например,* отсутствие свободного вращения звездочки может привести к перегреву и повышенному износу подшипника, т.е. снизить ресурс и работоспособность передачи. Момент затяжки гайки М 14 не может быть меньше 80 Нм, так как это приведет к ее отвинчиванию при вибрации, а больше 90 Нм – вызвать смятие резьбы при затяжке.

Радиальное биение, осевое смещение и перекос звездочек цепной передачи определяются по ГОСТ 591-69 и зависят от их геометрии и

кинематики передачи. Повышенные значения этих норм точности приводят к дополнительным нагрузкам на зубья, повышенному износу и даже соскакиванию цепи.

В конце этого раздела необходимо оценить достаточность технических требований и норм точности, сформулированных в заводских документах.

3 Технологический процесс изготовления детали, заданной в проекте

3.1 Выбор варианта получения заготовки для детали

Заготовка является полуфабрикатом, который используется для изготовления детали путем механической и термической обработок, нанесения защитно-декоративного покрытия или другим способом [7, 10]. Выбор заготовки – творческий процесс, основанный на знаниях и кругозоре инженера и возможностях производства.

В разделе необходимо указать не менее трех вариантов заготовок с учетом способа их изготовления и используемого материала. *Например*, возможны не менее девяти вариантов изготовления шкива клиноременной передачи, прижим режущего аппарата может быть получен отливкой из СЧ 15, штамповкой из листового материала Ст.3 или штамповкой; звездочка цепной передачи может быть получена литьем из модифицированного чугуна, штамповкой из листа Ст.65Г, поковкой из Ст.45 и даже из металлокерамики.

Заготовкой ступенчатого вала может быть круглый сортовой прокат из качественной стали, поковка из Ст. 20 или Ст. 45 с последующей химико-термической обработкой. При анализе этих вариантов необходимо учитывать ограничения, связанные с характером производства, соответствия выбранного материала способу получения заготовки, а также служебному назначению и конфигурации детали [7]. Следует также определить основные технико-экономические показатели (трудозатраты и материалоемкость) по вышеуказанным вариантам.

Величину трудозатрат можно оценить эмпирической зависимостью [22]

$$t_B = k_n \cdot a \cdot m_i^q,$$

где t_B - ожидаемая трудоемкость изготовления детали в нормо-часах;

k_n - коэффициент, учитывающий масштаб производства;

m_i - масса детали, кг;

a, q - коэффициенты, учитывающие влияние материала, способа изготовления и другие характеристики (таблица 3.2).

Таблица 3.1 - Рекомендуемые марки материалов для деталей типа шкивов

Основные факторы, определяющие выбор материала		Наименование и марка материала	Примечание
максимально допустимая окружная скорость, м/с	максимально допустимый наружный диаметр, мм		
1	2	3	4
До 30	До 350	Серый чугун СЧ 15	Толщина стенки 8-15 мм. Невысокие требования к износостойкости
	До 500	Серый чугун СЧ 18	Толщина стенки 8-25 мм
Свыше 30 до 45	До 500	Модифицированные чугуны ($\sigma_B=300-400$ МПа), стальные отливки из 15 Л	-
До 60	Свыше 500	Ст3	Ободы, диски, спицы
		Среднеуглеродистые стали	Ступицы, сварные и сборочные шкивы
Свыше 60 до 80	До 350	Неметаллические материалы: тесктолит, волокнит	-
Свыше 80 до 100	До 500	Алюминиевые сплавы: АЛ 9	Отливки или заготовки, обработанные резанием
	Св.500	Алюминиевые сплавы: АЛ 4	

Таблица 3.2 - Значение постоянных a и q для деталей различных видов

Вид обработки	Метод изготовления	Материал и вид заготовки	Характеристика конструкции	Коэффициенты	
				a	q
1	2	3	4	5	6
Литые	Машинная формовка по металлическим моделям	Серый чугун	Простые	0,029	0,65
			Сложные	0,045	0,58
		Ковкий чугун	Простые	0,047	0,72
			Сложные	0,058	0,66
Штампованные	Горячая объемная штамповка	Горячекатаная сталь	Простые	0,029	0,60
			Сложные	0,058	0,44
	Горячая гибка		Простые	0,012	0,30
			Сложные	0,024	0,43
	Холодная штамповка	Тонкий лист, $s < 4$ мм	Плоские, получаемые вырубкой	0,005	0,03
		Толстый лист, $s > 4$ мм		0,026	0,33

Вид обработки	Метод изготовления	Материал и вид заготовки	Характеристика конструкции	Коэффициенты	
				<i>a</i>	<i>q</i>
1	2	3	4	5	6
		Листовой прокат	Полые, получаемые вытяжкой	0,021	0,51
		Тянутые	Получаемые высадкой	0,014	0,47
Подвергающиеся механической обработке	Обработка на металлорежущих станках	Литые заготовки (машинная формовка по металлическим моделям)	Втулки, диски	0,044	0,53
			Корпусные сложные	0,082	0,74
			Корпусные простые	0,055	0,34
			Шестерни и звездочки	0,077	0,68
			Рычаги и вилки	0,025	0,20
			Заготовки, получаемые объемной штамповкой	0,276	0,70
		Заготовки, получаемые объемной штамповкой	Валы ступенчатые	0,139	0,59
			Валы шлицевые и валы шестерни	0,130	0,37
			Втулки и диски	0,178	0,38
			Шестерни и звездочки	0,244	0,74
			Шатуны и крестовины	0,119	0,53
			Рычаги	0,070	0,40
		Горячекатаный прокат	Валы ступенчатые простые	0,100	0,40
			Валы ступенчатые сложные	0,045	0,58
		Холоднотянутые заготовки	Валы	0,045	0,58

Коэффициент использования материала можно оценить с помощью таблицы 3.3. В общей стоимости продукции машиностроения удельный вес затрат на материал составляет 50-80%. Поэтому в серийном производстве для снижения материалоемкости и уменьшения объема лезвийной обработки коэффициент использования материала должен превышать 70-75%.

Таблица 3.3 - Средний коэффициент использования материала при изготовлении деталей сельскохозяйственных машин

Показатели	Метод получения деталей	Механическая обработка		
		отсутствует	частичная	полная
Литые детали	Машинная формовка по металлическим моделям	0,50-0,70	0,37-0,53	
Детали, получаемые объемной штамповкой	Объемная штамповка на молотах	0,77-0,83	0,50-0,67	0,40-0,52
	Горячая гибка	0,90-0,95	0,87-0,90	-
Детали, штампуемые из листа (малоотходная и безотходная штамповка)	Штамповка из толстого листа, $s > 4$ мм	0,80-0,87	0,77-0,83	-
	Штамповка из тонкого листа, $s < 4$ мм	0,83-0,90	-	-
Детали из проката	Горячекатаные	0,87-0,95	0,77-0,87	0,62-0,68
	Холоднотянутые	0,95-0,97	0,90-0,945	-

После выбора заготовки должна быть полная определенность в назначении материала, способа получения заготовки, необходимости термообработки, величине литейных или штамповочных уклонов и радиусов, степени ее подготовки к механической обработке или к сборке.

3.2 Формирование операций механической и химико-термической обработок

Операция – это законченная часть технологического процесса, которая выполняется на одном рабочем месте. Поэтому при формировании операции одновременно устанавливается вид оборудования, который определяет название операции: «шлифовальная», «фрезерная», «строгальная» и т.д.

Технологический переход – это законченная часть операции, которая характеризуется постоянством применяемых инструментов и поверхностей, образованных при мехобработке или сборке. Технологический переход формулируется в повелительном наклонении, например:

- «Перевернуть заготовку на 180^0 и установить в 3-кулачковый патрон»;
- «Точить поверхность «3» до $\varnothing 32$ мм на длине 100 мм при шероховатости $\sqrt{Ra25}$ »;
- «Закрепить крышку тремя болтами М8х20 с шайбами 8Н65Г».

Каждой операции присваивается номер: 005, 010, 017, 120 и т.д. Технологическому переходу присваивается номер внутри операции: 1, 2, 3, ... без пропусков.

Последовательность операций должна обеспечить экономически целесообразный переход от заготовки к детали. Последовательность обработки зависит от вида детали [5, 13].

Вначале обрабатывают поверхности, которые являются базами для дальнейшей обработки: центровые отверстия; внутренние поверхности втулок; плоские поверхности и т.д. Для повышения точности изготовления желательно, чтобы эти поверхности являлись также конструкторскими базами, относительно которых задано положение большинства других поверхностей детали.

Валы и оси могут быть жесткими ($L/D \leq 10$) и нежесткими ($L/D > 10$), где L - длина вала; D - диаметр его в средней части. Жесткие валы могут обрабатываться на токарных станках в патронах и в центрах. Нежесткие требуют дополнительного применения подвижных или неподвижных люнетов. Изготовление валов из круглых прутков чаще всего включает следующие этапы:

- 1) правка на правильно калибровочных машинах;
- 2) нарезание заготовок на пресс-ножницах, ножовочных, фрезерно-отрезных и других станках;
- 3) подрезание обоих торцов и центрование заготовки на фрезерно-центровальных станках;
- 4) черновое и чистовое обтачивание на токарных станках, многошпиндельных, многолезцовых полуавтоматах или гидрокопировальных полуавтоматах;
- 5) образование шпоночных пазов производится на универсальных горизонтально-фрезерных станках дисковыми фрезами; на шпоночно-фрезерных станках концевой фрезой маятниковым способом; шлицевые зубья получают фрезерованием с последующим шлифованием или холодным накатыванием;
- 6) сверление отверстий;
- 7) нарезание резьбы. В серийном и массовом производствах резьбы средней точности ($6g, 6h, 6H$) получают на резьботокарных или резьбонарезных полуавтоматах; менее точные резьбы ($8g, 8h, 7H, 7G$) - на резьбофрезерных и токарно-револьверных полуавтоматах. В мелкосерийном производстве используются токарно-винторезные станки;
- 8) термическая обработка;
- 9) чистовое шлифование шеек.

При обработке втулок из штучных полых заготовок (поковки, трубы) целесообразна такая последовательность:

- 1) зенкерование и чистовая обработка отверстия, подрезание торца и снятие фасок. При необходимости протяжка (прошивка) шлицевой поверхности;
- 2) черновое и чистовое обтачивание наружной поверхности, обработка бурта, проточка канавок и др.;
- 3) сверление второстепенных отверстий, канавок, нарезание резьбы и др.

Вышеуказанные операции выполняют на специальных станках (сверлильных, протяжных, внутришлифовальных и др.) или на универсальных токарных, револьверных, многошпиндельных полуавтоматах и др.

Обработка втулок из прутков обычно выполняется с одного установа на токарно-револьверном станке или автомате в следующем порядке:

- подрезка торца;
- подача прутка до упора;
- зацентровка под сверление;
- сверление отверстия;
- черновое и чистовое обтачивание;
- снятие фасок;
- развертывание отверстия;
- отрезка.

Конструктивной особенностью шестерен, звездочек, шкивов, дисков, маховиков является отношение толщины к диаметру меньше 0,5. Заготовками этих деталей служат отливки, штамповки, круглый и листовой прокат. Детали этого класса имеют общую схему обработки: вначале обрабатывается центральное отверстие и торцы, используемые в качестве технологических баз на последующих операциях. Далее проводят протягивание шлицев или шпоночной канавки, иногда предварительно протягивается отверстие в ступице. Обработка наружных поверхностей производится на многолезцовом полуавтомате после установки детали на шлицевой (шпоночной) оправке. В зависимости от типа производства и требуемой точности зубья шестерен получают фрезерованием, протягиванием, зубодолблением, зуботочением или накатыванием с осевой или радиальной подачей. При необходимости проводят шевингование или шлифование зубьев.

Корпусные детали (коробки и крышки редукторов, корпуса водяных насосов и др.) имеют сложную конфигурацию, большое число различных по форме и размерам поверхностей и отверстий. Для высокой точности их обработки в качестве установочной базы выбирают плоскость со значительной протяженностью и два технологических отверстия на этой базе. Типовая схема обработки корпусной детали:

- 1) обработка базовой плоскости и изготовление двух технологических отверстий на возможно большем расстоянии друг от друга;
- 2) обработка основных плоскостей и базовых конструкторских отверстий;
- 3) фрезерование второстепенных плоскостей;
- 4) обработка крепежных отверстий.

В качестве технологической базы может быть использовано конструктивное отверстие достаточного диаметра.

Для обработки корпусных деталей используются протяжные, фрезерные, расточные, сверлильные универсальные станки и даже автоматические линии.

Детали, длина которых более чем в 2 раза превышает размеры поперечного сечения и которые не имеют форму тел вращения, относят к

классу «некруглые стержни». Это рычаги, тяги, серьги, вилки, шатуны, коромысла и другие. Обрабатываемые поверхности в этих деталях незначительны и имеют вид площадок, бобышек или ступиц с отверстием.

Точность обработки отверстий 6-8 IT, а шероховатость $Ra = 0,63 - 2,5$ мкм. Особое внимание уделяют взаимной точности расположения отверстий и не параллельности их осей.

Детали класса «некруглые стержни» обрабатывают в следующей последовательности:

- 1) черновая и чистовая обработки основных отверстий и их торцов;
- 2) изготовление шпоночных пазов, сверление и другие второстепенные операции;
- 3) финишная обработка (при необходимости) основных отверстий и их торцов.

При изготовлении более сложных деталей в качестве первой базы выбирают поверхность, которая остается черновой даже в конце механической обработки. По этой базе обрабатывается поверхность, которая служит установочной базой для остальных операций. Такая чистовая база должна иметь точность в 2-3 раза выше, чем поверхности, которые по ней обрабатываются.

В крайнем случае заготовку базируют на последовательно сменяемых обработанных поверхностях. Это ведет к накоплению погрешностей, так как нарушается принцип постоянства баз. Совпадение технологической и конструкторской баз обеспечивает максимальную точность детали.

Далее, для каждой обрабатываемой поверхности детали следует наметить последовательность обработки. Решение этой задачи состоит из двух этапов:

- 1) по известному качеству точности и шероховатости конкретной поверхности выбирают метод конечной обработки;
- 2) базирясь на исходном состоянии заготовки и методе конечной обработки, устанавливают промежуточные методы. При этом используются таблицы экономической точности различных методов обработки [24]. Чем точнее поверхность, тем позднее она обрабатывается.

При формировании техпроцесса механической обработки детали желательно группировать однотипные черновые обработки отдельных поверхностей в операцию черновой обработки, чистовые обработки группировать в операции чистовой обработки и т.д. Выбор станков, режущего инструмента и мерительного инструмента производится с учетом принципов концентрации и дифференциации операций.

В зависимости от выбранного проектантом типа станка повышение производительности труда достигается применением многолезцовых настроек или одновременной обработкой нескольких заготовок.

Специфические особенности в план изготовления детали вносит ее химико-термическая обработка.

Сквозная (объемная) закалка и отпуск создают твердость $HRC < 40$ ($HB < 390$), что позволяет вести обработку лезвийным инструментом, в том числе протяжками. Закалку и отпуск таких деталей чаще всего проводят после черновой обработки перед чистовой.

Химико-термическая обработка и закалка ТВЧ создают на поверхности твердость $HRC > 40$. Если такой обработке подвергается вся поверхность детали, то она осуществляется после лезвийной обработки перед шлифованием. В деталях СХМ вышеуказанную обработку назначают только для отдельных поверхностей. Например, термообработка недопустима для резьб. Для защиты поверхности от химико-термической обработки их омедняют при цементации, проводят лужение (покрывают оловом) при азотировании или оставляют повышенные припуски. В последнем из вариантов проводят насыщение всех поверхностей детали углеродом или азотом. Затем снимают ранее оставленные повышенные припуски вместе с углеродом или азотом. На конечной операции проводят закалку поверхностей, сохранивших углерод или азот. Это надежный, но трудоемкий способ, так как заготовку приходится многократно перемещать по цехам завода для мехобработки и термообработки.

3.3 Расчет размеров заготовки с учетом припусков на обработку резанием и формоизменяющих операций

Для получения детали в соответствии с чертежом с поверхности заготовки снимают слой металла – «припуск».

Для определения размеров заготовки необходимо знать размеры детали и общие припуски на эти размеры. Если поверхность заготовки обрабатывается последовательно несколько раз, то общий припуск будет равен сумме припусков по каждой операции. Следует различать односторонний и двухсторонний припуски.

Размер припуска определяет точность получения размера детали, качество обработанной поверхности, расход металла в стружку, производительность и экономичность обработки. При недостаточном припуске возникает брак из-за высокой шероховатости поверхности, остатков дефектного слоя, погрешностей формы детали или низкой точности размеров детали. Оптимальный операционный припуск позволяет определить промежуточные размеры заготовки, подобрать режущие и мерительные инструменты.

На практике применяют два подхода к определению припуска при обработке заготовки резанием [6, 19, 20, 21]. В первом варианте (серийное производство) вначале определяют припуски по каждой операции. Их суммирование позволяет определить общий припуск и в конечном счете размер заготовки.

Операционные припуски на механическую обработку зависят от состояния обрабатываемой поверхности - шероховатости, глубины дефектного слоя, погрешностей формы (коробление, кривизна прутка и т.п.) и погрешности установки заготовки в приспособлении. Величину припуска можно уменьшить за счет повышения точности заготовки путем ее правки, использования специальных видов литья (под давлением, в кокиль и т.п.), применением объемной штамповки с калибровкой, использованием индукционного нагрева при получении заготовки или других прогрессивных приемов.

Во втором варианте (единичное и мелкосерийное производства), используя специальные нормативы, определяют сразу общий припуск. Так как условия обработки усредняются, то общий припуск оказывается завышенным. В дальнейшем этот припуск разделяют на операционные, ориентируясь на принцип прогрессивного убывания по мере повышения точности заготовки.

При расчете по первому варианту минимальный двухсторонний припуск, удаляемый в i -й операции,

$$2 \cdot R_{Z_{i-1}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i),$$

где $R_{Z_{i-1}}$ - высота неровностей, возникших в $(i-1)$ операции;

h_{i-1} - глубина дефектного слоя, образованного в операции $(i-1)$. Это наклеп, микротрещины, обезуглероживание, раковины и т.д.;

ρ_{i-1} - погрешность формы заготовки, возникшая в операции $(i-1)$ (коробление, кривизна прутка, смещение оси отверстия при сверлении и т.д.);

ε_i - погрешность установки заготовки в i -й операции по причине неточности приспособления, деформации зажима, износа кулачков и т.д.

В зависимости от принятого типа производства студент должен определить размер заготовки и операционные припуски по одному из вариантов.

При формоизменяющих операциях листовой штамповки (гибка, вытяжка и др.) в наружных поверхностях заготовки возникают напряжения растяжения, на внутренних поверхностях напряжения сжатия. В результате возникает удлинение одних волокон металла, сокращение других. Поэтому размер заготовки определяют по нейтральной плоскости. Для облегчения расчетов конфигурацию детали условно разделяют на фрагменты простой геометрической формы.

Длина заготовки гнутой детали равна развернутой длине ее нейтральной линии

$$L_p = \sum_{i=1}^m l_i + \frac{\pi}{180^\circ} \sum_{j=1}^k \alpha_j R_j,$$

где m - число прямолинейных участков на детали;

l_i - длины этих прямолинейных участков;

α_j, R_j - соответственно угол и радиус по нейтральной линии изогнутых участков;

k - число криволинейных участков на детали.

Для цилиндрической детали, полученной вытяжкой, заготовкой является круг. Его диаметр D_3 определяется из условия равенства срединной поверхности готовой детали F_d и заготовки. Из условия их равенства

$$\frac{\pi \cdot D_3^2}{4} = F_d$$

получим

$$D_3 \approx 1,13 \cdot \sqrt{F_d} = 1,13 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^n F_j},$$

где F_j - площади отдельных элементарных участков детали;

n - число таких участков.

Например, для цилиндрической детали с дном диаметр плоской заготовки

$$D_3 = \sqrt{D^2 + 4 \cdot D \cdot H},$$

где D - диаметр детали по нейтральной линии;

H - высота детали.

Размер плоской заготовки иногда увеличивают на 1-2%, если требуется обрезка детали по контуру.

4 Качественный анализ и количественная оценка технологичности объекта проектирования

Технологичность изделия – это совокупность его свойств, которые обеспечивают минимальные затраты на изготовление и эксплуатацию при заданной программе выпуска и безусловном обеспечении потребительских свойств. Степень технологичности нового изделия устанавливается сравнением его показателей с аналогичными показателями базового изделия. В проекте должны быть охарактеризованы показатели рациональности, ресурсоемкости и преемственности; в том числе степень использования стандартных, нормализованных и унифицированных элементов. Например, пальцевый режущий аппарат жатки состоит из деталей, большинство из которых нормализовано. Поэтому его изготовление в заводских условиях не представляет сложности, в производстве он технологичен. В эксплуатации он требует частых и разнообразных регулировок для обеспечения оптимальных зазоров между подвижными и неподвижными элементами. Следовательно, в эксплуатационных условиях его технологичность невысокая. В то же время пальцевый режущий аппарат имеет удовлетворительную ремонтпригодность, все его детали взаимозаменяемы.

Требования технологичности конкретны в зависимости от возможностей и характера производства (единичное, серийное, массовое), достигнутого уровня унификации, вида исходной заготовки и т.д. В проекте

должны быть строго разграничены требования технологичности к машине (орудию), СЕ и к деталям.

В соответствии с ГОСТ 14.206-73 вся конструкторская документация проверяется на соответствие требованиям технологичности на всех стадиях производства. Для сельскохозяйственной техники эти работы наиболее эффективны в период проектирования, так как выбор лучшего варианта в этот период предупреждает излишние затраты времени и средств на изготовление и испытание менее эффективных вариантов.

4.1 Деталь, заданная в проекте

При анализе технологичности детали чаще всего используется метод инженерно-визуальной оценки, посредством которого устанавливаются качественные показатели.

Материалы, используемые для изготовления деталей штамповкой листовых, трубных и профильных полуфабрикатов, должны соответствовать условиям эксплуатации (усталостная прочность, коррозионная стойкость и др.) и требованиям технологии изготовления (пластичность, относительное удлинение и др.).

Конструктивные элементы деталей, полученных при листовой штамповке (вырубке, гибке, вытяжке, рельефной формовке, отбортовке, обжимке), приведены в [22, 24]. Основными показателями технологичности таких деталей являются:

- симметричность относительно одной или нескольких осей;
- унификация типовых элементов (радиусыгиба, диаметры отверстий, выкусы и т.д.);
- коэффициент использования материала;
- возможность использования универсального инструмента;
- отсутствие последующей механической обработки резанием;
- минимальное количество штамповочных переходов, необходимых для изготовления детали.

Большое значение имеет оформление наружного контура, формы и расположения отверстий. Например, стороны вырубаемого на штампе наружного и внутреннего контуров должны сопрягаться возможно большими радиусами (рисунок 4.1), так как в острых углах матрицы и пуансона возникают трещины. Скругления углов выполняют так, чтобы дуга сопрягалась с прямыми не по касательной, а по хорде. Иначе в местах сопряжений возникают выкусы и заусенцы, и затрудняется малоотходная штамповка.

Стороны детали, полученной резкой на ножницах или отрезных штампах, не должны иметь закруглений в углах (рисунок 4.2), так как это требует дополнительной обработки. Минимальная ширина участков детали

должна быть согласована со свойствами материала и толщиной листа. Следует избегать узких и длинных вырезов:

$$h \geq (1,2 - 2,0) \cdot \delta;$$

$$b \geq (1,2 - 2,0) \cdot \delta.$$

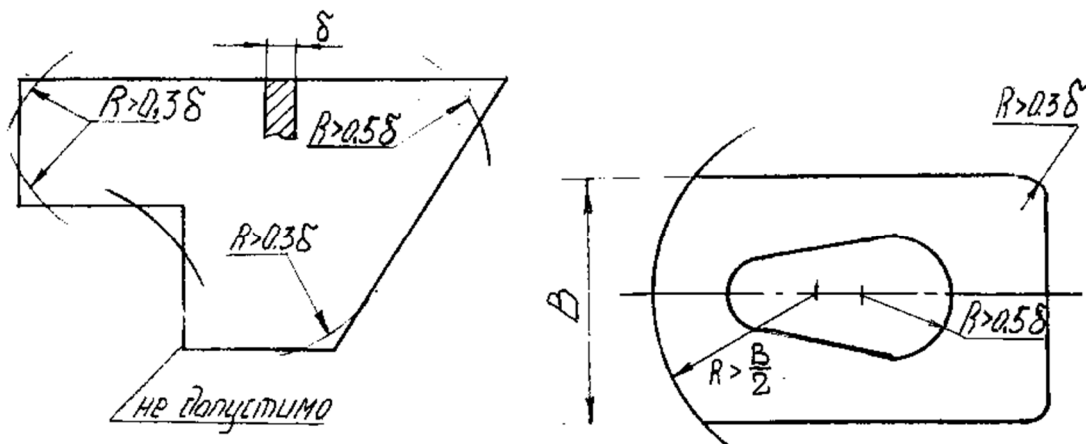


Рисунок 4.1 - Контуры деталей, вырубаемых на штампе

Для высокоуглеродистых и легированных сталей принимают большие значения.

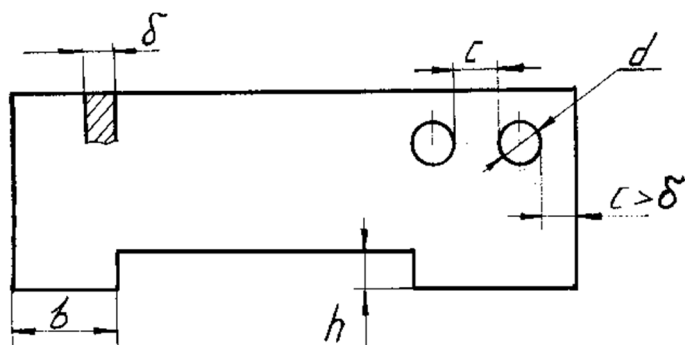


Рисунок 4.2 - Контуры детали, полученной резкой на ножницах

Для обеспечения малоотходного раскроя контуры детали должны быть симметричными или обратнсимметричными и оформленными прямыми и дугами. Пробивка фигурных отверстий менее технологична, чем пробивка круглых.

В деталях, полученных гибкой из листа, круглого проката, труб и специальных профилей, минимальный радиус гибки должен соответствовать толщине металла и размерам сортамента [22, 24], иначе в этом месте может возникнуть разрыв металла.

При оценке технологичности отливок обращают внимание на соответствие материала форме заготовки и ее служебному назначению. Для исключения рыхлот в отливках, усадочных раковин и остаточных напряжений следует ограничивать толщину их стенок, увеличивать радиусы сопряжений поверхностей, избегать местных скоплений металла. Жесткость и прочность отливок повышают применением рациональных профилей, использованием

ребер жесткости и рантов [22, 24]. Выбор способа литья влияет не только на трудоемкость получения отливки, но и на ее точность и шероховатость.

Использование разовых песчано-глинистых форм является наиболее распространенным и универсальным способом литья, так как можно получить отливки из любых сплавов и сложных конфигураций. Недостатком является низкая точность отливок, поэтому 15-20% металла превращается в стружку при мехообработке. Главными показателями технологичности деталей, полученных из отливок, являются коэффициент использования металла и конструктивная сложность. Первый из них определяют, как отношение массы готовой детали к массе металла, использованного для получения ее заготовки.

Коэффициент конструктивной сложности μ определяют в зависимости от вида фигуры, в которую может быть вписана литая деталь.

Для отливок, которые вписываются в параллелепипед,

$$\mu = \frac{2M}{\rho AS} \left(\frac{A}{B} + \frac{A}{C} + 1 \right);$$

для отливок, которые вписываются в цилиндр,

$$\mu = \frac{2M(R + L)}{\rho RLS};$$

для отливок, которые вписываются в шар

$$\mu = \frac{3M}{\rho S R_{ш}};$$

где A, B, C - максимальный, средний и минимальный габариты отливки, м;

M - масса отливки, кг;

ρ - плотность отливки кг/м³;

S - площадь поверхности отливки, м²;

R - габаритный размер отливки, м;

L - длина габаритного цилиндра, м;

$R_{ш}$ - габаритный радиус шара, м².

Чем ближе величина μ к единице, тем технологически рациональнее конструкция отливки.

Детали, получаемые *объемной штамповкой*, имеют высокие механические свойства и сравнительно низкую себестоимость благодаря высокой производительности их выпуска. Часто поверхности штамповок обрабатывают резанием. Поэтому при выборе материала детали следует учитывать не только ее эксплуатационные свойства, но и обрабатываемость резанием. При высокой пластичности материала (относительное сужение при одноосном растяжении $\psi > 0,2$) возможна его штамповка без нагрева.

Поковки должны иметь простую геометрическую форму и плавные сопряжения. Проектант должен обращать внимание на выполнение следующих специфических требований к детали, заданной в проекте:

- ребра, бобышки и другие выступающие элементы желательно располагать с одной стороны детали;

- площадь поперечного сечения по длине детали не должна изменяться более чем в 3 раза;

- деталь не должна иметь длинных узких отростков, так как это приводит к браку при незаполнении фигуры металлом;

- деталь должна быть симметричной хотя бы относительно одной оси.

Важнейшей характеристикой детали, определяющей стойкость штампа, трудоемкость и производительность техпроцесса является коэффициент сложности ее формы [7]:

$$C = \frac{V_{дет}}{V_{фиг}},$$

где $V_{дет}$ - объем детали;

$V_{фиг}$ - объем условной фигуры в форме шара, цилиндра или параллелепипеда, в которую можно вписать данную деталь по ее максимальным размерам.

Чем больше C , тем выше технологичность детали. Приняты следующие градации групп сложности: первая $0,63 < C \leq 1$; вторая $0,32 < C \leq 0,63$; третья $0,16 < C \leq 0,32$; четвертая $C \leq 0,16$

Почти все детали подвергаются *обработке резанием и шлифованием*. Оценка технологичности этих деталей включает общие и специальные требования в зависимости от их конфигурации. К общим требованиям относятся:

- максимальное использование унифицированных элементов (резьбы, фаски, канавки, отверстия, шпоночные пазы и т.д.) с одинаковыми размерами, допусками и шероховатостью поверхности;

- наличие удобных баз для установки и закрепления деталей в приспособлениях;

- применение материала, обладающего наилучшей обрабатываемостью лезвийным или абразивным инструментом;

- обрабатываемые поверхности должны иметь простую симметричную форму, допускающую применение высоко производительных методов обработки;

- другие общие требования изложены в [3, 15, 22, 24].

На технологичность конструкций деталей большое влияние оказывает способность их материала поддаваться обработке режущим инструментом. От этого показателя зависят оптимальная скорость резания и возможность получения требуемых точности и шероховатости обработанных поверхностей (таблица 4.1). Обрабатываемость металла характеризуется коэффициентом K_v , который изменяется от 0,5 до 2,1. Чем больше этот коэффициент, тем легче обрабатывается материал, но труднее получить требуемую шероховатость поверхности. Например, для Ст3 величина $K_v = 1,65$; для 25Л – $K_v = 1,0$; для Сталь 65Г – $K_v = 0,6$; для Сталь 25 – $K_v = 2,0$; для Сталь 20Х – $K_v = 1,65$ и т.д. В общем случае обрабатываемость металла ухудшается, и увеличиваются усилия резания с увеличением содержания углерода и

уменьшением содержания серы и марганца. Поэтому имеющиеся в литературе рекомендации необходимо соотносить с характеристиками обрабатываемости материала.

Характер специальных требований зависит от конфигурации деталей. В ступенчатых валах размеры ступеней по длине желательно устанавливать одинаковыми или кратными, это сокращает время на обработку на многорезцовых станках. При двухсторонней ступенчатости диаметры должны возрастать от концов вала. Это облегчает наладку многорезцовых станков и упрощает обработку на универсальных токарных станках.

Таблица 4.1 - Соотношения между полями допусков предпочтительного применения и параметрами шероховатости поверхности

Квалитет	Поля допусков		Параметры шероховатости (мкм) для поверхностей с номинальными размерами, мм									
	Вал	Отвер- стие	До 18	Св.18 до 30	Св.30 до 50	Св.50 до 80	Св.80 до 120	Св.120 до 180	Св.180 до 250	Св.250 до 315	Св.315 до 400	Св.400 до 450
6	g6 h6 js6 k6 n6 p6 r6 s6		Ra0,63	Ra1,25					Ra2,5			
7	f7 h7	H7 Js7 K7 N7 P7										
8	e8 h8	F8 H8							Ra6,3			
9	d9 h9	E9 H9										
11	d11 h11	H11					Ra12,5					

В мелкосерийном производстве используют гидросуппорты для обработки одноступенчатых валов, различающихся по размерам в пределах группы. Для минимальной переналадки такого станка целесообразна простановка размеров по координатному методу (рисунок 4.3).

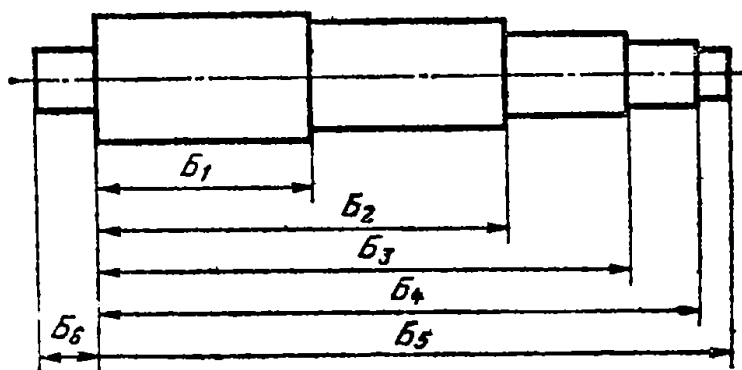


Рисунок 4.3 - Простановка линейных размеров на валу по координатному методу

При конструировании валов со шпоночными пазами следует отдавать предпочтение обработке дисковой фрезой, так как обработка пазов пальцевой фрезой хотя и более точная, но менее производительная.

Конструкции втулок, дисков и колец должны допускать обработку всех внутренних поверхностей с одной стороны при одной установке. Это обеспечивает соосность этих поверхностей. Шлицевые отверстия во втулках должны быть сквозными, что позволяет вести обработку протягиванием.

Корпусные детали должны иметь хорошо развитые опорные базы, обеспечивающие установку и надежное крепление при обработке. Для возможности многошпиндельной обработки при сверлении отверстий расстояние между их осями следует выбирать не менее 30-45 мм.

При конструировании звездочек применительно к условиям крупносерийного производства следует исключить формообразование зубьев резанием, предпочитая накатку или радиальную штамповку.

При конструировании шкивов из алюминиевых сплавов или пластмасс их ступицы желательно армировать стальными или чугунными втулками.

Технологичность деталей зависит также от принятой конструктором системы и простановки размеров. Рациональная система позволяет совместить конструкторские и технологические базы, выбрать выгодную последовательность обработки [14].

Для снижения негативного влияния коррозии, износа, высоких контактных давлений, воздействия агрессивных веществ на поверхность деталей наносят соответствующие покрытия. В зависимости от условий эксплуатации проектант должен выбрать вид покрытия – хромирование, цинкование, оксидирование, фосфатирование, лакокрасочное или пластмассовое [8, 9].

Термическая и химико-термическая обработки повышают твердость, износостойкость, сопротивление усталости и контактной выносливости. В сельскохозяйственном машиностроении наибольшее распространение получили поверхностная закалка, улучшение (закалка и низкий отпуск), цементация в жидком или газовом карбюризаторе, нитроцементация. Азотирование используют реже, чем цементацию из-за большей длительности

процесса и меньшей толщины упрочненного слоя, что ограничивает величину контактных нагрузок.

Упрочняющая обработка [21, 23] поверхностным пластическим деформированием (обкатывание, обработка дробью, дернование) формирует в поверхностном слое деталей напряжение сжатия 40-80 МПа. Поэтому на 20-40% увеличивается поверхностная твердость, повышается циклическая прочность за счет ликвидации технологических концентраторов напряжения, улучшается износостойкость. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых пластическим деформированием, примерно такие, как требования к деталям обрабатываемым резанием.

Металлические покрытия и окраска повышают износостойкость поверхностей, изменяют их функциональные свойства, повышают коррозионную стойкость, позволяют экономить цветные сплавы и высоколегированные стали, восстанавливают изношенные поверхности деталей.

При выборе материала для деталей необходимо, по возможности, чаще использовать силумины (сплавы алюминия с кремнием и магнием), которые обладают хорошими литейными свойствами, высокой коррозионной стойкостью, упрочняются термообработкой, свариваются газовой и дуговой аргоновой сваркой.

Во всех машиностроительных отраслях промышленности все большую популярность завоевывают детали, полученные методами порошковой металлургии. Их получают из материалов, не образующих между собой сплава (*например*, медь с железом, железо с графитом и др.). Поэтому из порошков можно получить материал, обладающий специфическими свойствами [9]. Кроме того, изделия из спеченных материалов в большинстве случаев не требуют механической обработки, так как сама технология производства обеспечивает высокую точность.

Для многих конструкций весьма эффективна замена черных и цветных металлов пластмассой (термопластичными или термореактивными полимерами). Это обусловлено не только широким спектром их свойств, но и снижением трудоемкости изготовления деталей (особенно в серийном производстве), высоким коэффициентом использования материала [9].

В процессе проектирования студент должен, ориентируясь на выбранную деталь, оценить ее качественные и количественные показатели технологичности и изложить свои соображения о повышении технологичности этой детали.

4.2 Сборочная единица и изделие в целом

Основы технологичности конструкции создаются при разработке схемных решений. На этом этапе проектант особое внимание должен уделить оценке рациональности конструкции, ее ресурсоемкости и преемственности

по отношению к аналогу. Все эти три базовых показателя должны найти отражение в проекте [3, 24].

Рациональность конструкции – это ее соответствие общепринятым правилам конструирования. Рациональность может не иметь количественного выражения, но позволяет предотвратить дефекты при изготовлении, повысить качество работы и производительность машины. Рациональность конструкции выражается, *например*, в соответствии качества и шероховатости поверхностей их служебному назначению (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 - Рекомендации по выбору параметров шероховатости Ra (мкм) поверхностей деталей в зависимости от их функционального назначения при заданном качестве

Характеристика поверхности	Квалитет	При номинальных размерах, мм			
		До 50		Свыше 50 до 500	
		вал	отверстие	вал	отверстие
Посадочные поверхности сменных деталей	5	0,2	0,4	0,4	0,8
	6	0,4	0,8-0,4	0,8	1,6-0,8
	7	0,8-0,4	0,8	1,6-0,8	1,6
	8	0,8	1,6-0,8	1,6	3,2-1,6

Характеристика поверхности	Квалитет	При номинальных размерах, мм					
		До 50		Свыше 50 до 120		Свыше 120 до 500	
		вал	отверстие	вал	отверстие	вал	отверстие
Поверхности деталей для посадок с натягом: собираемые под прессом; собираемые способом термической деформации	6-7	0,4	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6
	8	0,8	1,6	1,6-0,8	3,2-1,6	3,2-1,6	3,2-1,6
Поверхности деталей для посадок с точным центрированием	5-7	0,05 0,1	0,1 0,2	0,1 0,2	0,2 0,4	0,4 0,8	0,8 1,6
Рабочие поверхности дисков трения	6			1,6			

Примерами отсутствия рациональности является несогласованная производительность рабочих органов машины, использование ротационного режущего аппарата при скашивании зерновых культур и т.д. Увеличение ширины захвата и рабочей скорости машины без изменения конструкции ее рабочих органов чаще всего экономически не оправдано, так как при этом снижается коэффициент готовности машины и увеличиваются потери времени на ее обслуживание. Повышение рациональности достигается применением более совершенных передаточных механизмов и рабочих органов, интенсифицирующих процесс работы.

Ресурсоемкость – это натуральные и стоимостные показатели машины, которые характеризуют количественную оценку технологичности. К натуральным показателям относятся материалоемкость, энергоемкость и трудоемкость изготовления машины. Для сравнения новой машины и аналога применяют относительные величины этих показателей.

Удельная материалоемкость

$$K_M = \frac{M}{P},$$

где M - масса машины (агрегата, орудия);

P - основной технологический параметр изделия: ширина захвата; производительность; грузоподъемность и т.п.

Удельная трудоемкость

$$K_T = \frac{T}{P},$$

где T - трудоемкость изготовления изделия.

Удельная энергоемкость

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}}{P},$$

где \mathcal{E} - установочная мощность двигателя, обеспечивающего работу изделия.

Преемственность – это сохраняемость конструктивных элементов, материалов, деталей базового изделия в новой конструкции. Показатели преемственности предполагают ограничение количества оригинальных деталей, более широкое использование стандартных, нормализованных и унифицированных элементов как сборочных единиц, так и фрагментов деталей (галтели, фаски и т.п.).

При стандартизации и нормализации конструктивные решения оформляют в виде документов: стандартов и нормалей. Первые из них обязательны внутри государства или даже группы государств. Объектами стандартов являются подшипники, марки сталей, крепежные резьбы и т.п.

Коэффициент стандартизации изделия

$$K_{CT} = \frac{E_{CT} + D_{CT}}{E + D},$$

где E_{CT} и D_{CT} - количество стандартных сборочных единиц и деталей, не входящих в эти сборочные единицы (болтокрепёж не учитывают);

E и D - количество СЕ и деталей «россыпью» в рассматриваемых изделиях.

Нормали применяют в масштабе отрасли или одного предприятия. Объектами нормализации являются специфические изделия: сегменты режущего аппарата; вариаторы; звездочки цепных передач; бичи молотильного барабана и т.д. Иногда нормализуют отдельные элементы детали: фаски; галтели; требования к отливкам и др.

Коэффициент нормализации

$$K_H = \frac{E_H + D_H}{E + D},$$

где E_H и D_H - количество нормализованных СЕ и деталей, не вошедших в эти СЕ.

Унификация – это сокращение многообразия конструктивных решений, предусмотренных ГОСТ или нормами. Унификация сокращает номенклатуру применяемых материалов, сортамента, размеров отверстий, фасок и т.д. В результате сокращается количество типоразмеров инструмента, видов технологической оснастки, номенклатура запчастей.

Коэффициент унификации изделия

$$K_y = \frac{E_y + D_y}{E + D},$$

где E_y и D_y - количество унифицированных СЕ и деталей.

При выполнении этого раздела следует вычислить все вышеуказанные коэффициенты по новой машине и аналогу и сравнить их между собой.

Анализ качественных показателей технологичности должен включать решение следующих задач [15]:

- оценить соответствие габаритов и массы изделия с условиями сборки, возможной регулировки и транспортировки;
- выяснить наличие базовой детали, к которой удобно присоединять остальные элементы изделия;
- установить, обеспечивается ли единственно возможное относительное положение собираемых деталей. При наличии альтернативного варианта оценить его целесообразность;
- оценить возможность расчленения изделия на сборочные единицы, допускающие самостоятельную сборку, контроль и испытание;
- оценить возможность объединения нескольких простых деталей в одну более сложную. Такой подход позволит избежать многосвязных размерных цепей. Если сократить число звеньев нельзя, то в конструкции изделия следует предусмотреть жесткий или регулируемый компенсатор;
- проверить соответствие предусмотренных соединений деталей требованиям точности и производительности сборочных работ. *Например*, вместо клеевых соединений применить клепаные и даже сварные; прямобоочные шлицевые соединения заменить эвольвентными; конический редуктор заменить перекрестной клиноременной передачей и т.д.;
- оценить наличие труднодоступных и неудобных мест для сборки, трудоемкость замены отказавших деталей;
- рассмотреть необходимость применения специальных приспособлений, например, для сжатия пружин при сборке, одновременного базирования нескольких деталей, балансировки вращающихся деталей и т.д.;
- оценить надежность предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания, появления недопустимых зазоров между деталями;
- оценить надежность защиты элементов конструкции от эрозии (т.е. коррозии и износа).

Взаимное соединение деталей должно учитывать технологические и эксплуатационные требования (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Типизация посадок

Группа посадок	Сочетание основных отклонений отверстия и вала в посадке		Характеристика эксплуатационных свойств посадки
	системы отверстия	системы вала	
С зазорами	H/a, H/b, H/c	A/h, B/h, C/h	Посадки с большими зазорами
	H/d H/e	D/h E/h	Широкоходовая Легкоходовая
С зазорами	H/f H/g H/h	F/h G/h H/h	Ходовая Движения Скользкая
Переходные	H/j _s H/k H/m H/n	J _s /h K/h M/h N/h	Плотная Напряженная Тугая Глухая
С натягом	H/p H/r, H/s, H/t H/u, H/x, H/z	P/h R/h, S/h, T/h U/h, X/h, Z/h	Легкопрессовая Прессовая средняя Прессовая тяжелая

Выбор посадок подвижных и неподвижных соединений приводят на основании расчетов, экспериментальных исследований или ориентируясь на аналогичные соединения, условия работы которых хорошо известны. Следует отметить, что при использовании метода аналогий необходимо указывать конкретные условия, влияющие на выбор квалитетов и посадок. *Например*, при ударных нагрузках и увеличенной шероховатости поверхностей зазоры следует уменьшать, а натяги увеличивать. При большой длине соединения и высоких скоростях вращения зазоры следует увеличивать, а натяги уменьшать. При частом демонтаже зазоры и натяги должны быть минимально возможными.

Из группы посадок и зазоров наибольшее распространение в сельхозмашинах имеют *скользящая* (H8/h8, H9/h9) и *легкоходовая* (H7/e8). Скользящая посадка применяется в подвижных и неподвижных соединениях при невысоких требованиях к соосности для установки на валы деталей, передающих крутящие моменты через шпонку. Примером являются сменные шестерни, шкивы на концах валов, эксцентрик кривошипношатунного механизма. Легкоходовые посадки 7 и 8 квалитетов благодаря повышенным зазорам используют в многоопорных валах, увеличенной длине соединения, при разнесенных опорах (коренные шейки коленчатого вала и т.д.) Посадки с большими зазорами имеют, как правило, низкую точность (11, 12 квалитет). Их применяют в подвижных грубоцентрированных соединениях (дистанционные втулки в редукторах, крышки подшипников, шарнирные соединения тяг, собачки предохранительных устройств).

Переходные посадки используют в подвижных, но разъемных соединениях деталей, они обеспечивают их хорошее центрирование. Натяги, получающиеся в переходных посадках, недостаточны для передачи

значительных крутящих моментов и требуют дополнительного крепления соединяемых деталей шпонками, винтами и др. Наибольшее распространение получили напряженные посадки 6, 7 и 8 квалитетов. По этим посадкам устанавливают зубчатые колеса, маховики, поршневые пальцы, подшипники и т.д.

Посадки с натягом имеют ограниченное применение в сельскохозяйственных машинах. Относительная неподвижность деталей достигается за счет напряжений, возникающих в материале сопрягаемых деталей вследствие упругих и пластических деформаций. Сборка с натягом осуществляется под прессом при нормальной температуре или с предварительным нагревом охватываемой детали. Такие посадки 7, 8 квалитетов (H7/u7, U8/h8 и др.) используют при запрессовке пальца кривошипа, стальных втулок в силуминовые корпуса и др.

Эксплуатационные требования оказывают решающее влияние на выбор вида соединения деталей в сборочных единицах. В сельхозмашиностроении наиболее распространены сварные, резьбовые, шпоночные и шлицевые соединения.

Технологичность *сварных соединений* зависит от правильности выбора материала, способа сварки, применения экономических профилей проката [2, 3, 23].

Качество наплавки и свариваемость сталей характеризуются уровнем углеродного эквивалента $C_э$. Чем меньше $C_э$, тем свариваемость лучше. Величину этого эквивалента можно определить по формуле

$$C_э = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Gr/5 + Mo/4 + V/14,$$

где C, Mn, Si, Ni, Gr, Mo, V - содержание в сплаве соответствующего химического элемента, %.

Стали, имеющие $C_э < 0,45\%$, относятся к хорошо сваривающимся. Остальные стали относятся к удовлетворительно и ограниченно сваривающимся. Такие стали, а также кипящие стали всех марок нельзя применять для ответственных конструкций.

Стали с высоким $C_э$ требуют предварительного подогрева для предотвращения трещин, так как существует корреляция между $C_э$ и максимальной твердостью по системе Виккерса в зоне сварного шва:

$$HV_{\max} = 660C_э + 40.$$

В зависимости от рассчитанного значения HV_{\max} выбирается температура предварительного подогрева стального изделия:

HV_{\max} ниже 200 (температура предварительного подогрева до $T^{\circ}C$ до 150^0); 250 (температура предварительного подогрева до $150^0 < T^{\circ}C < 250^0$); 325 и выше (температура предварительного подогрева до $T^{\circ}C > 250^0$).

Например, для стали марки 15X величина

$$C_э = 0,15 + \frac{1,0}{5} = 0,35\%.$$

Соответственно $HV_{\max} = 660 \cdot 0,35 + 40 = 271$.

Следовательно, перед сваркой деталей из такой стали их необходимо предварительно нагреть до температуры около 200°C .

Сварные соединения следует располагать в зоне наименьших рабочих напряжений, так как их прочность ниже прочности основного металла. Симметричное расположение сварных швов уменьшает вероятность возникновения сварочных напряжений и деформаций. В сельскохозяйственных машинах наибольшее распространение получили точечная сварка и дуговая сварка в углекислом газе плавящимся электродом. В последние годы в общем машиностроении расширяется применение электронно-лучевой сварки, энергоемкость которой в 10-15 раз меньше чем дуговой. Электронный луч формирует точечные и шовные швы за счет проплавления соединяемых деталей.

Технологичность *резьбовых соединений* зависит от наличия открытого доступа к местам их установки, надежной нейтрализации самоотвинчивания, унификации принятого крепежа. Ресурс болтовых соединений увеличивают упрочнением отверстия и повышением радиального натяга.

В зависимости от передаваемой нагрузки выбирают вид *шпоночного соединения* [18]:

- напряженное, создаваемое клиновой шпонкой и способное передавать крутящий момент и осевую силу;
- ненапряженное, создаваемое призматической или сегментной шпонкой и передающее только крутящий момент.

Соединения клиновой шпонкой применяют в механизмах с невысокой точностью, так как оно смещает ось ступицы относительно вала. Призматические шпонки обеспечивают лучшее центрирование сопрягаемых деталей, их устанавливают в неподвижных и скользящих соединениях (таблица 4.4). Материал шпонок – углеродистая сталь с пределом прочности не ниже $5 \cdot 10^2$ МПа.

Таблица 4.4 - Типовые сочетания полей допусков шпоночных соединений

Характер соединения	Ширина шпонки	Паз вала	Паз втулки
Свободное (обеспечивает перемещение втулки вдоль вала)	h9 (в минус, система вала)	H9 (в плюс)	D10 (в плюс)
Нормальное (неподвижное)		N9 (в минус)	Is9 (\pm)
Плотное (при циклической нагрузке)		P9 (в минус)	P9 (в минус)

Обозначение посадок: $\frac{H9}{h9}$; $\frac{D10}{h9}$ и т.д.

Для *шлицевых соединений* наиболее экономичным является центрирование по поверхности наружного диаметра, при этом высокую

точность у шлицевого вала можно легко получить шлифованием, а шлицевые отверстия во втулке - протягиванием. Центрирование по поверхности внутреннего диаметра обеспечивает особо высокую точность. При этом приходится шлифовать шлицевое отверстие и вал. Точная посадка по боковым сторонам шлица применяется редко и в случае высокопеременных и реверсивных нагрузок.

Эвольвентные шлицевые соединения по сравнению с прямобочными более равнопрочны, имеют меньшую концентрацию напряжений у основания зуба, обеспечивают лучшее центрирование. Такие шлицы на валу можно получать накаткой, резанием фрезой или долбяком, а в отверстии - протягиванием если твердость ступицы $HRC < 40$. Если по конструктивным соображениям ступица должна иметь большую твердость, то шлицы вначале протягивают, а затем проводят азотирование с закалкой, которое не искажает профиль.

Технологичность шлицевых соединений зависит от требований к твердости их элементов, износостойкости, тщательной обработки центрирующих поверхностей, наличия заходных фасок. По нецентрирующим диаметрам зазоры должны быть весьма значительными, чтобы гарантировать сопряжение по центрирующим поверхностям. Рекомендуемые поля допусков и посадки представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Поля допусков и посадки для шлицевых соединений

Центрирование по поверхности	Соединение	Характер передачи вращения	Посадки		
			по центрирующему диаметру	по нецентрирующему диаметру	по боковым сторонам
Прямобоочные шлицевые соединения					
d	Подвижное - « -	Не реверсируемая Реверсируемая	H7/f7 H7/g6	H12/a11 - «-	F10/f9 D9/h9
D	Неподвижное	Не реверсируемая	H7/j _s 6	- « -	F8/f8
b	Неподвижное	Реверсируемая	H7/js6	H12/a11	F8/j _s 7
Эвольвентные шлицевые соединения					
S	Неподвижное	Не реверсируемая	H7/k8, H7/j _s 6	H16/h12, H9/h9	-
	Подвижное	Не реверсируемая Реверсируемая	H9/g9 H7/g6	H11/h16 H9/g9	-

Пример обозначения прямобочных шлицевых соединений:

- при центрировании по наружному диаметру D

$$D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9};$$

- при центрировании по внутреннему диаметру d

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8};$$

- при центрировании по боковым сторонам b шлиц

$$b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8};$$

здесь 8 – число зубьев (шлиц); $36=d$, $40=D$, $7=b$ – толщина шлица.

Пример обозначения эвольвентных шлицевых соединений:

- при центрировании по боковым сторонам зубьев с посадкой $\frac{H9}{g9}$

$$50 \cdot 2 \cdot \frac{9H}{9g} \text{ ГОСТ 6033-80};$$

- при центрировании по наружному диаметру с посадкой $\frac{H7}{g6}$

$$50 \cdot 2 \cdot \frac{H7}{g6} \text{ ГОСТ 6033-80};$$

- при центрировании по внутреннему диаметру с посадкой $\frac{H7}{g6}$

$$i50 \cdot 2 \cdot \frac{H7}{g6} \text{ ГОСТ 6033-80};$$

здесь $D=50$ – номинальный диаметр соединения;

2 - модуль в мм.

При монтаже подшипников необходимо обеспечивать свободное вращение вала с внутренним кольцом относительно корпуса с наружным кольцом, иначе возможно заклинивание. Поэтому закрепление колец на валу и в корпусе достигается не только радиальным, но и осевым натягом [18, 23]. Техпроцесс сборки подшипниковых соединений необходимо построить так, чтобы имелась возможность непосредственно воздействовать на кольцо, которое устанавливается с натягом, иначе разрушится сепаратор.

Шероховатость посадочных поверхностей подшипника на валах $Ra = 0,08 - 0,8$ мкм, в корпусе $Ra = 0,16 - 1,25$ мкм. Несоосность посадочных поверхностей при парной установке подшипников не более 0,01-0,02 мм.

5 Обеспечение точности сборки и взаимозаменяемости деталей в СЕ

Конструктивное оформление деталей в сборочной единице должно исключать подгоночные работы в процессе их установки. Соблюдение этого условия позволяет применять автоматизацию и механизацию сборочных работ, и прогрессивные способы организации сборки.

Взаимозаменяемость элементов конструкции достигается назначением необходимых допусков сопрягаемых контуров. Типы посадок следует выбирать в зависимости от условий работы соединения. Необходимый квалитет устанавливают размерным анализом, имеющим целью проверку работоспособности соединения при крайних значениях зазоров (натягов).

В процессе производства невозможно выполнять размеры деталей абсолютно точными. Поэтому изделие должно функционировать нормально,

пока погрешности размеров контуров деталей будут лежать внутри поля допуска.

Оценка точности сборки осуществляется путем составления и анализа пространственных связей между сопрягаемыми деталями. Эти связи описываются размерными цепями в традиционном виде [4] или как графы, вершинами которых являются поверхности, линии и точки, а ребрами (дугами) – расстояния между этими элементами. Размерная цепь соответствует одному циклу графа. Для размерного описания большинства сборочных единиц требуется несколько циклов, которые объединены графом.

Каждый простой замкнутый цикл состоит из увеличивающихся, уменьшающихся и замыкающего звеньев. Во многих практических задачах весьма трудно определить вид звена. Задача упрощается и формализуется при использовании графов [6]. Для этого проектант должен предварительно выполнить три условия:

- 1) провести численную разметку всех поверхностей изучаемого объекта (детали или сборочной единицы) в каком-то одном направлении;
- 2) построить размерную схему, т.е. граф объекта;
- 3) выбрать направление обхода графа: по часовой стрелке или наоборот. Если вершина, в которой звено начинается, численно больше вершины, где оно оканчивается, то это будет увеличивающее звено. Другие звенья, кроме замыкающего, будут уменьшающимися.

В качестве примера рассмотрим фрагмент из сборочной единицы установки шестерни на вал с использованием пружинного кольца (рисунок 5.1). При сборке необходимо выполнить три условия:

- 1) пружинное кольцо толщиной T_4 должно располагаться внутри канавки шириной T_3 ;
- 2) зазор между торцом шестерни и пружинным кольцом $[A_\Sigma] = 1^{+0,5}_{-0,3}$. При меньшем $[A_\Sigma]$ затрудняется установка кольца, при большем возникает фрикционная коррозия из-за осевых перемещений шестерни вдоль вала;
- 3) для обеспечения осевой фиксации шестерни ее торец должен свисать со ступеньки вала на величину $[B_\Sigma] = 1,5_{-0,5}$ мм.

Сложность данной задачи в том, что в этом фрагменте имеются два замыкающих звена, по отношению к которым остальные звенья могут быть увеличивающими или уменьшающимися. В соответствии с изложенной выше методикой строим граф, который включает одновременно три цикла: 1-2-3, 2-5-4-3 и 1-2-5-4-3.

При выбранном направлении обхода (по часовой стрелке) уравнение цикла 1-2-3 будет $T_1 + B_\Sigma - T_2 = 0$, откуда $B_\Sigma = T_2 - T_1$. Звено T_2 – увеличивающее, T_1 – уменьшающее. Уравнение цикла 1-2-5-4-3 будет $T_1 + T_3 - T_4 - A_\Sigma - T_2 = 0$, откуда

$$A_\Sigma = T_1 - T_2 + T_3 - T_4 = T_3 - B_\Sigma - T_4.$$

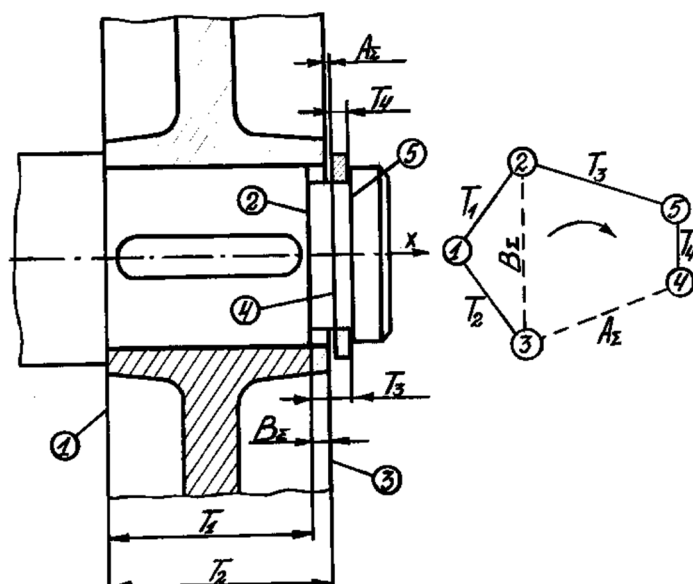


Рисунок 5.1 - Фрагмент и граф крепления шестерни

В дипломном проекте могут решаться прямая и обратная задачи расчета графа. В первом случае определяют номинальные размеры и допуски всех звеньев графа, исходя из условий, предъявляемых к его замыкающим звеньям. При решении обратной задачи, исходя из значений номинальных размеров и допусков звеньев графа, определяют статистические характеристики замыкающего звена.

Вышеуказанные задачи могут решаться разными методами. Если в цикле графа не более 3-4 звеньев, то применяют метод полной взаимозаменяемости. При большем числе звеньев можно применять метод неполной взаимозаменяемости, получивший широкое распространение в сельскохозяйственном машиностроении. В обоих случаях номинальный размер замыкающего звена [4, 11]

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i,$$

где m - число звеньев в цикле;

ξ_i - передаточное отношение i -го звена, имеющего размер A_i .

В частности для линейных графов с параллельными звеньями $\xi_i = 1$ - для увеличивающих и $\xi_i = -1$ - для уменьшающих звеньев.

Допуск замыкающего звена при расчете по методу полной взаимозаменяемости [4, 11]

$$T_{\Sigma}^{\Pi} = \sum_{i=1}^{m-1} T_i,$$

при расчете по методу неполной взаимозаменяемости [25, 42]

$$T_{\Sigma}^{НП} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 T_i^2},$$

где T_i - допуск i -го звена;

t - критерий Стьюдента (таблица 5.1), зависящий от риска P получить сборочную единицу с точностью ниже регламентированной (для исправления этого брака необходимо провести переборку деталей конструкции);

λ_i - коэффициент относительного рассеивания размеров: для Гауссовского распределения, характерного для серийного и массового производств $\lambda_i = 1/3$, для мелкосерийного и индивидуального производств $\lambda_i = 1/\sqrt{3}$, при среднесерийном производстве принимают $\lambda_i = 1/\sqrt{6}$ [4].

Таблица 5.1 - Значения t при различной величине P

Процент риска, P %	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10,0	32,0
Критерий t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1,0

В сельскохозяйственных машинах для обеспечения достаточной точности сборки деталей со значительными допусками размеров широко распространен *метод регулирования A_Σ подвижными или неподвижными компенсаторами* [4]. В качестве неподвижных компенсаторов, *например*, (регулировка зазора между сегментом и противорезом) используются шайбы, прокладки одинаковой или разной толщины. В качестве подвижных компенсаторов используют, *например*, резьбовые соединения, пружины. Примером является регулировка длины шатуна. Расчет размерной цепи осуществляется по методу полной или неполной взаимозаменяемости.

Реже используется *метод селективной сборки* (групповая взаимозаменяемость) [4], который эффективен в массовом и крупносерийном производствах для малозвенных циклов и при очень жестких требованиях к точности замыкающего звена, когда $T_\Sigma \leq 0,05$ мм. Этот метод используют при разработке процессов сборки подшипников, поршневых колец и поршней и др. Расчет такой размерной цепи ведут методом полной взаимозаменяемости.

Метод пригонки применяют в индивидуальном или мелкосерийном производствах [4].

Отметим, что для полной характеристики размера необходимо знать не только его номинальную величину и допуск, но и координату середины поля допуска. В сборочной единице координаты середин полей допусков звеньев должны быть увязаны между собой условием [4, 21]

$$\Delta_{0_\Sigma} = \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_{0_i},$$

где Δ_{0_Σ} и Δ_{0_i} - координаты середин полей допусков замыкающего и i -го звеньев;

m - число звеньев в рассматриваемом цикле.

В проекте необходимо выбрать наиболее эффективный метод обеспечения взаимозаменяемости, определить параметры замыкающего звена, вычислить допуски и номинальные размеры, сопрягаемых с ним звеньев.

6. Технология сборочных работ

6.1 Составление вариантов схем сборки заданной СЕ или изделия в целом

Любое изделие проектируется так, чтобы его можно было разделить на отдельные сборочные единицы и детали. Такой подход позволяет:

- сократить сроки проектирования за счет выполнения разнообразных конструкторских работ в специализированных отделах;
- сократить производственный цикл за счет параллельного изготовления, контроля и испытаний отдельных элементов конструкции.

Разделение изделия на основные части обеспечивается разнообразными разъемами. Конструктивные разъемы обусловлены различным функциональным назначением частей: мотовила; бункера; диффузора и т.д. Технологические разъемы назначают из условия рациональной организации производства. Эти разъемы используют при монтаже двигателя, пневматических колес, молотильного барабана и т.д. Эксплуатационные разъемы назначают исходя из условий технического ухода, ремонта, транспортирования. Такие разъемы имеют камнеуловитель, кабина зерноуборочного комбайна, винтовой домкрат платформы подборщика и т.д.

С позиций технологичности к разъемам предъявляется ряд требований:

- разъем желательно располагать в горизонтальной плоскости симметрично к базовой оси;
- места разъемов должны быть доступными для сборки и контроля;
- соединяемые СЕ должны быть взаимозаменяемы по контуру разъема, чтобы исключить слесарные доводочные и пригоночные работы;
- номенклатура и количество креплений должно быть минимальным, чтобы ограничить количество применяемого инструмента и сократить трудоемкость сборочных работ;
- количество крепежа следует уменьшать за счет применения замков, шарниров, защелок и т.д.

Выбор схемы разделения изделия на составные части и по характеру разъема решающим образом влияет на схему сборки, состав оснастки и инструмента. Различают дифференцированную и недифференцированную схемы сборки.

Дифференцированная схема сборки соответствует дробному разделению изделия на агрегаты, сборочные единицы разного порядка и детали (рисунок 6.1).

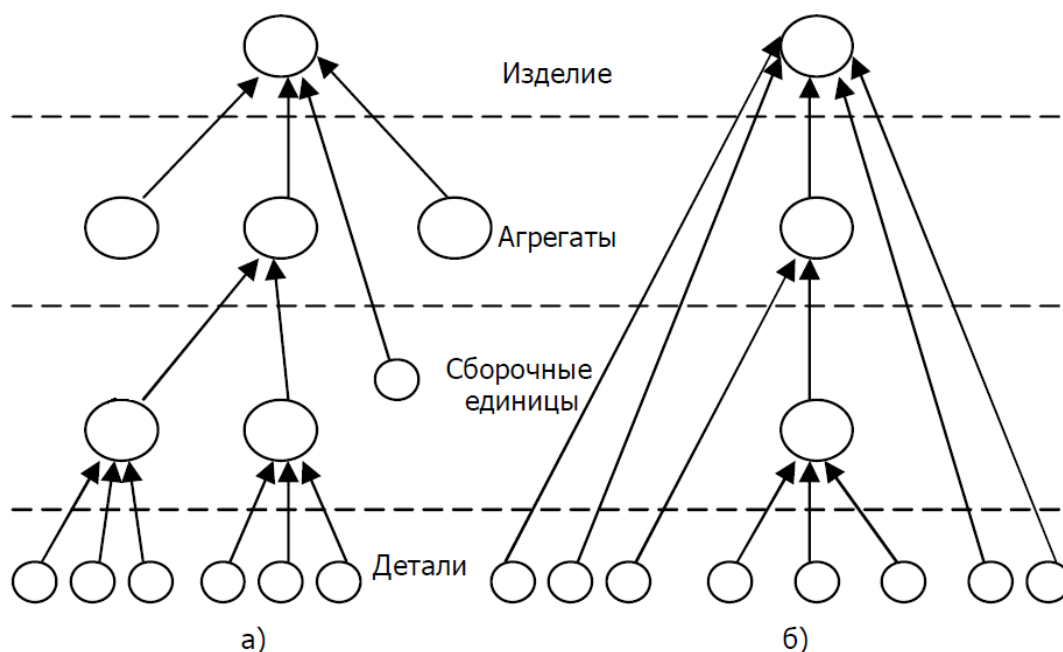


Рисунок 6.1 - Схемы сборки изделия:
а – дифференцированная; б - недифференцированная («россыпью»)

Дифференцированная схема сборки обеспечивает широкий фронт работ, свободный доступ к отдельным элементам изделия, возможность применения механизированного и автоматизированного оборудования. Для реализации этой схемы необходимы значительные площади цехов, большое число рабочих невысокой квалификации. Все это соответствует серийному производству.

При недифференцированной схеме изделие собирается из ограниченного числа сборочных единиц и многих деталей, которые подаются «россыпью» на окончательную сборку. Из-за стесненных условий преобладает ручной труд, что можно допустить в единичном или мелкосерийном производствах.

В качестве ориентира можно принять следующее количество машин для характеристики серийности (таблица 6.1) [23].

Таблица 6.1 - Характеристика типов производств

Тип производства	Крупные машины	Средние машины	Мелкие машины
Мелкосерийное	2-3	5-25	10-50
Среднесерийное	5-25	25-150	50-300
Крупносерийное	Свыше 25	Свыше 150	Свыше 300

Применительно к сельхозмашинам к крупным машинам можно отнести зерноуборочный комбайн, зерноочистительный агрегат; к средним машинам можно отнести, например, прицепную валковую жатку; к мелким машинам - культиватор, триерный блок и т.д.

Массовое производство характеризуется постоянством выпускаемых изделий: втулочно-роликовые цепи; подшипники; сегменты режущего аппарата и т.д. Для такого производства характерно применение специализированного оборудования и автоматических линий при строгом соблюдении принципа взаимозаменяемости.

Независимо от принятой схемы сборки техпроцесс можно организовать с различной последовательностью выполнения отдельных этапов сборки, причем некоторые этапы могут выполняться параллельно, т.е. одновременно и независимо друг от друга. Применение параллельной и последовательно-параллельной сборок позволяет сократить сроки работ.

В курсовом и дипломном проектах необходимо представить не менее двух различных схем сборки изделия. При их анализе учитываются вышеописанные соображения, возможность использования базовой детали, удобной для закрепления, концентрация по времени однотипных операций и возможность выполнения технологических требований, изложенных в разделе 5.2.

Выбранная схема сборки должна отражать порядок комплектования изделия, наглядно представлять техпроцесс и являться основой для разработки технологических операций [5]. Перед построением схемы сборки необходимо выбрать базовую деталь, к которой последовательно будут крепиться остальные детали. Далее следует наметить эту последовательность. Пример составления схемы сборки представлен на рисунке 6.2 и в образце выполнения работы.

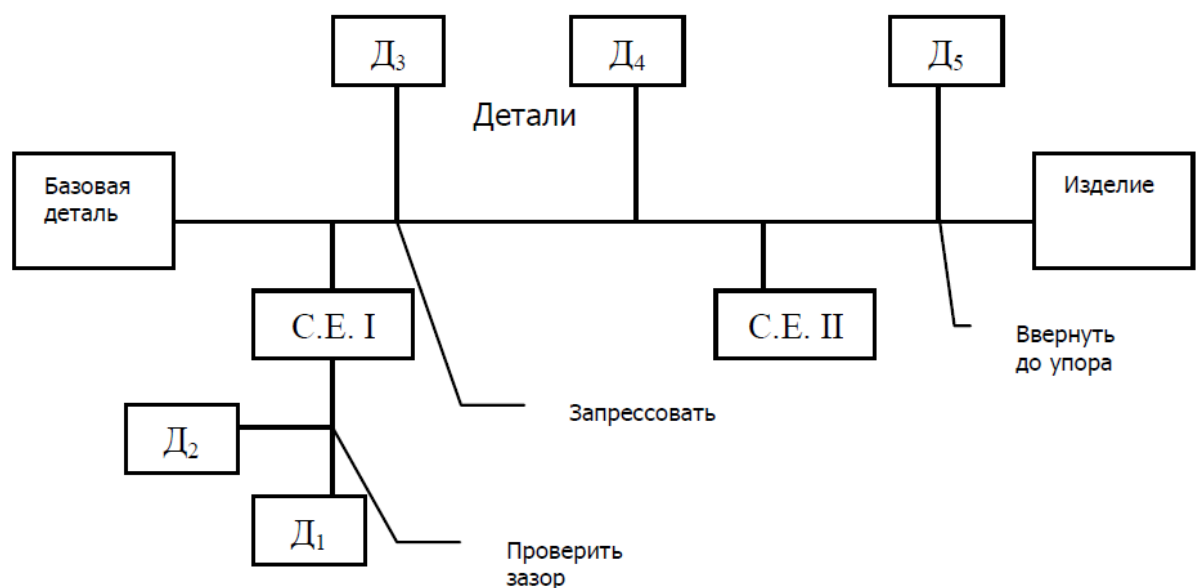


Рисунок 6.2 - Схема сборки изделия

Для обоснования базовой детали необходимо предварительно дать характеристику состояния ее поверхностей, предлагаемых в качестве технологических баз. Одновременно указываются характеристики сопрягаемых поверхностей присоединяемых деталей и вид сопряжения (посадка с зазором, переходная или с натягом, использование болтокрепёжа и т.д.). В зависимости от условий сборки следует указать необходимые оснастку и оборудование (пневмогайковерт, пресс, сварочный аппарат и т.д.).

В схеме сборки каждый элемент изделия обозначается прямоугольником, в котором следует указать наименование детали, номер ее позиции на чертеже, обозначение и количество деталей в СЕ, как показано на рисунке 6.3.

9	Храповик	
	ТПНТ.890100.417	3

Рисунок 6.3 – Пример отображения детали в технологической схеме сборки

При отображении на технологической схеме сборки стандартных изделий вместо обозначения указывается ГОСТ на данное изделие, как показано на рисунке 6.4.

21	Шпонка 18x11x100	
	ГОСТ 23360-78	2

Рисунок 6.4 - Пример отображения стандартных изделий в технологической схеме сборки

Процесс сборки изображен горизонтальной линией в направлении к готовому изделию. Выше горизонтальной линии располагают детали, а ниже сборочные единицы.

На схеме сборки следует указать рекомендации, характеризующие способы соединения элементов в изделии (посадка, вид сварки, предельный крутящий момент в резьбовом соединении и т.п.).

6.2 Проектирование операций сборки

Операции сборки проектируют в соответствии со сборочным чертежом изделия, его спецификацией и ранее разработанной схемой сборки. Техпроцесс сборки так же, как и процесс механической обработки состоит из операций и их составных частей-переходов.

Для решения поставленной задачи необходимо выбрать вид сборки (поточная или непоточная) и ее организационную форму (неподвижная или подвижная). Этот выбор является предварительным и будет уточнен после проектирования и нормирования техпроцесса сборки. На данном этапе

решение принимается по аналогии со сборкой на заводе-изготовителе и с учетом принятого в проекте объема выпуска.

Перед сборкой соединяемые детали необходимо очистить. Металлические опилки, абразивный порошок, остатки обтирочных материалов могут попасть в подшипники, отверстия, пазы и прочие места и вывести из строя отдельные механизмы и даже машину. В зависимости от вида загрязнения детали можно промывать в моечной машине или обдуть сжатым воздухом. Каждое рабочее место сборщика оборудуется постом воздушной магистрали и гибким шлангом с пистолетом.

Структурирование техпроцесса на операции и переходы сборочных, регулировочных и контрольных работ должно соответствовать ранее принятой схеме сборки. В состав операций включают однородные работы. Это способствует специализации сборщиков, ограничению применяемых приспособлений и инструментов. Поэтому недопустимо в одной операции объединять сварочные, ручные слесарно-сборочные работы или механизированные работы с использованием прессы, балансировочной машины и другого оборудования. Подготовительные и пригоночные работы (селективная сортировка деталей, шлифование регулировочных шайб и т.п.) не следует включать в техпроцесс сборки. Указанные работы должны быть выполнены на станках в механическом цехе.

Если производство массовое, то наполнение операций переходами должно быть по времени кратно или равно ритму выпуска изделия. Только в этом случае сборка будет поточной.

Если же производство серийное, т.е. величина ритма носит условный характер, то операции формируют, ориентируясь на окончательную сборку отдельных СЕ или их составных частей.

После формирования переходов и операций определяется оперативное время сборки, т.е. сумма основного и вспомогательного времени [3, 12, 15, 24]. Отметим, что это время будет различным в зависимости от типа производства и масштаба применения нормативов (отраслевые, заводские или др.).

Завершается этот этап составлением циклограммы сборки, которая представляет графическое изображение совмещения во времени отдельных операций и дает представление о длительности сборки (рисунок 6.5).

Кроме сварочных работ, наиболее характерными операциями в сельхозмашиностроении являются: сборка подшипниковых соединений; цепных, клиноременных и зубчатых передач; ведущих и натяжных звездочек; гидравлических и прокладочных соединений [4, 5, 21, 23]. От качества их сборки во многом зависят эксплуатационные показатели собранной машины или агрегата.

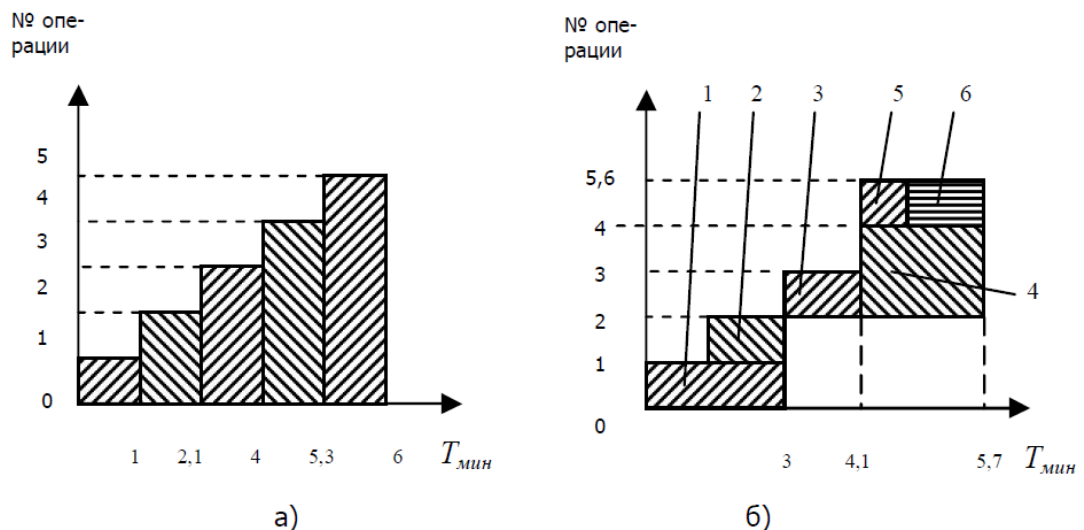


Рисунок 6.5 - Циклограмма сборочных работ:
 а – последовательное выполнение операций; б – параллельно-последовательное выполнение операций

6.3 Определение типа производства и его организации

Предварительное определение типа производства на этапе проектирования изделия позволяет выбрать характер сборки, определить степень универсальности заказываемого оборудования и спланировать его расстановку по ходу техпроцесса или по группам оборудования.

Тип производства (единичный, серийный, массовый и др.) зависит от соотношения ритма выпуска изделия и длительности его изготовления [13, 23, 24].

Ритм выпуска изделия или сборочной единицы

$$R = \frac{60[D - (52 \cdot 2 + 11)]T_{CM}C\alpha_p\alpha_{II}}{W}, \text{ (мин/шт.)}$$

где $D = 365$ дней в году;

52 – количество недель в году;

2 – суббота и воскресенье – выходные дни;

11 – число праздничных дней;

T_{CM} - длительность рабочего времени смены в часах;

$C=1, 2$ или 3 – количество смен в сутках;

α_p - коэффициент, учитывающий простой оборудования из-за ремонта.

Для простых устройств $\alpha_p = 0,96-0,98$; для автоматизированного оборудования $\alpha_p = 0,9-0,94$; для автоматических линий $\alpha_p = 0,88-0,92$;

$\alpha_{II} = 0,93-0,99$ – коэффициент, учитывающий потребности на перерыв в работе;

W - плановый годовой объем выпуска изделия, сборочной единицы или детали.

В задании на проект указывается объем выпуска изделия (машины, агрегата, орудия) $W_{изд}$. В этом случае годовой выпуск одной из его СЕ равен

$$W_{C.E.} = W_{изд} n_{C.E.} \left(1 + \frac{\alpha_1}{100} \right),$$

где n_{CE} - количество одинаковых рассматриваемых СЕ в одном изделии;

α_1 - процент СЕ для запчастей.

При разработке маршрутной технологии после расчленения сборочной операции на переходы, используя нормативные материалы [16, 17], определяют оперативное время для сборки изделия или СЕ

$$T_{on} = \frac{T_{n.-з}}{n} + T_o + T_v,$$

где $T_{n.-з}$ - подготовительно-заключительное время на партию из n изделий;

T_o - основное время непосредственной работы;

T_v - вспомогательное время.

Техническая норма времени на сборку СЕ*

$$T = T_{on} + T_{пер} + T_{обсл},$$

где $T_{пер} = T_{on} \cdot \beta / 100$ - время перерыва для личных надобностей рабочего (Обычно принимают $\beta = 2 - 3\%$);

$T_{обсл} = T_{on} \cdot c / 100$ - время для обслуживания рабочего места (Обычно принимают $C = 0,6 - 2,5\%$);

* - операция планируется на сборку одной СЕ.

Следует различать трудоемкость сборки T и длительность D времени на ее выполнение, обычно $D \leq T$. Равенство в этом выражении возможно, если сборка выполняется последовательно. На практике чаще всего сборка может осуществляться параллельно-последовательно, тогда $T/D = 1 \dots 5$.

Рассчитанную величину D корректируют с учетом ритма R выпуска. D должна быть равна или кратна R . Если $R > D$, то величина кратности $n = R/D$ должна быть целочисленной, т.е. не дробной. Если это условие не выполняется, то наполняют операцию переходами или поступают наоборот, чтобы производство было поточным. Если же $R < D$, то планируют несколько параллельных рабочих мест, их число

$$m = D/R.$$

Тип производства можно определить по коэффициенту серийности

$$k_{сер} = R/D.$$

$k_{сер} < 1 - 2$ соответствует массовому производству; $k_{сер} \leq 10$ - крупносерийному производству, $10 < k_{сер} \leq 20$ - среднесерийному производству, $20 < k_{сер} \leq 40$ - мелкосерийное производство, $k_{сер} > 40$ - единичному

производству. Характеристики этих типов производств приведены в [5, 13, 23, 24].

Основными организационными формами сборки являются стационарная и подвижная. Стационарная сборка применяется в индивидуальном, экспериментальном и мелкосерийном производствах. Проводят такую сборку на одном или нескольких неподвижных стендах. При расчленении операций на переходы принимают бригадный метод с дифференциацией работ.

При серийном и массовом производствах более эффективна подвижная сборка с использованием конвейера с непрерывным или периодическим перемещением. Высшей формой подвижной сборки является поточное производство.

В современных механосборочных цехах удельный вес ручных работ остается значительным и составляет 60-70%. Для сокращения ручных работ необходимо использовать не только механизацию, но и автоматизацию сборочных работ. Применительно к сельхозмашинам эти приемы затруднены из-за сложности совмещения деталей и соединяющих их элементов (болтов, винтов, заклепок, шплинтов). В то же время существует много типовых соединений, которые выполняются массово (клепка сегментов к ножевой полосе, сборка подбичников и бичей молотильного барабана, установка пальцев на граблинах мотовила и т.д.). Автоматизация таких сборок может существенно снизить трудоемкость. К сожалению, возможности существующих манипуляторов значительно уступают человеку.

В процессе проектирования необходимо наметить направления, обеспечивающие автоматизацию сборочных процессов:

- 1) разработка ориентирующих устройств для деталей, направляемых на сборку. В зависимости от конструкций деталей устройства могут быть активными или пассивными;
- 2) повышение технологичности деталей применительно к автоматической сборке за счет усиления или ослабления их симметричности;
- 3) исключение сцепляемости деталей в бункере;
- 4) повышение точности деталей.

По степени приспособленности к автоматической сборке соединения деталей можно разделить на группы:

I – соединение по цилиндрическим поверхностям с зазором - наиболее удобно;

II – соединение прессованием или сваркой - сложнее;

III – соединение двух деталей третьей - заклепкой, шпонкой, разрезным стопорным кольцом и т.д.;

IV – соединение деталей винтами, при возможности, саморезами;

V – болтовые соединения наиболее сложные, так как нужны определенные бункеры для болтов, гаек и шайб, а также приспособления для их ориентации, наживления и удержания от проворачивания.

7 Технология нанесения защитно-декоративных покрытий

В зависимости от служебного назначения проектируемого изделия возникает необходимость создания или повышения его специфических характеристик (высокая контактная прочность, износостойкость, электропроводность и т.д.), обеспечение длительной эксплуатации, придания ему декоративности. Это достигается нанесением на поверхность деталей мажеобразных покрытий (солидол, литол, графитные смазки, битумные составы и т.п.) или твердых покрытий с органической или неорганической основой. Органическую основу имеют лакокрасочные и полимерные покрытия. Неорганическую основу имеют металлические и конверсионные покрытия.

При выборе покрытия необходимо ориентироваться на его технологичность, условия эксплуатации и хранения изделия, сложность изделия и ряд других факторов. Эффективность покрытия зависит от качества подготовки поверхности, на которой могут быть дефекты (раковины отливок, облои поковок, пригар, заусенцы, пористость и прожоги сварных швов и т.д.) и загрязнения: жировые, окисные, солевые. Дефекты удаляют травлением в кислотах, щелочах, спецрастворах или механической обработкой. В зависимости от вида загрязнений их удаляют обезжириванием в органических растворителях или мойкой в щелочных растворах. Конверсионные покрытия (оксидирование, фосфатирование) используют для кратковременной или длительной защиты от окисления [8].

Наиболее простой и традиционный способ борьбы с коррозией и придания изделиям хорошего декоративного вида – нанесение лакокрасочного покрытия. Это многостадийный процесс: грунтовка; шпаклевка; окраска и сушка. Лакокрасочные материалы состоят из большого числа различных компонентов: пигментов; смол; растворителей; пленкообразователей; сиккатива и др.

Для обозначения эмалей, шпаклевок, лаков и других аналогичных материалов приняты соответствующие индексы. В начале индекса буквенной аббревиатурой указан состав пленкообразующего вещества. Приняты следующие обозначения: МЛ – меламиналкидный; НЦ – нитроцеллюлозный; ГФ – глифталевый; ПФ – пентафталевый; ФЛ – фенольный; ЭП – эпоксидный; МС – алкидно- или масляностирольный; ПЭ – полиэфирный; КО – кремнийорганический; АК – полиакриловый; АС – акриловые сополимеры; ВЛ – поливинилбутиральный. После буквенного обозначения следуют цифры, определяющие назначение лакокрасочного материала. Для обозначения грунтовок первой цифрой ставят «0», для обозначения шпатлевок – «00». Следующая значащая цифра указывает для каких условий предназначен данный материал: 1 – атмосферостойкий; 4 – водостойкий; 5 – специальные свойства (например, светящийся); 6 – маслостойкий; 7 – химически стойкий; 8 – термостойкий. Последующие цифры могут обозначать номер партии. Иногда после группы цифр имеется одна или несколько букв.

Например, «ГС» - горячая сушка, «ХС» - холодная сушка, «НГ» - негорючая краска, «М» - матовое покрытие.

Для сельхозмашин, работающих в атмосферных условиях внешней среды, применяют грунтовки «ФЛ-03К» (на основе фенольной смолы номер 3, красная), ГФ-020, ПФ-020; шпатлевку типа ПФ-002; краски эмалевые марок ПФ-115, ПФ-188, АС-182. Для оборудования животноводческих ферм, силосоуборочной техники применяют грунтовки ПЭ-010, АК-070 и эмали ПЭ-773, ПЭ-711 и др. [40, 50].

Грунтовка наносится один, реже двумя слоями толщиной 60-100 мкм. Обычно все детали и СЕ мобильных сельхозмашин вначале грунтуются и окрашиваются, а затем производится окончательная вторичная окраска изделия в собранном виде [8].

Пластмассовые покрытия более надежно и долговечно защищают детали от коррозии, не адсорбируют влагу, придают поверхности специфические свойства. В мировом производстве порошковых красок преимущественное распространение получили поливинилхлоридные, полиэтиленовые, эпоксидные полимеры. Намечается тенденция к увеличению потребления полиэфирных и полиакрилатных красок. В сельхозмашиностроении пластмассовые покрытия наносят распылением, окунанием, напылением, плакированием [10].

На детали, подверженные интенсивному износу, работающие под воздействием кислот и щелочей, наносят покрытия электролитическим путем. На заводах сельхозмашиностроения наибольшее распространение получили цинкование, хромирование, оксидирование, фосфатирование, железнение и меднение [8].

В зависимости от условий работы детали и СЕ проектант должен выбрать и обосновать вид поверхностного покрытия; раскрыть технологию его нанесения на поверхность.

8 Методы и средства контроля изготовления деталей и проведения сборочных работ

В зависимости от конструкции заданной детали или СЕ в проекте необходимо наметить конструктивные элементы, подлежащие контролю, указать, какие для этого требуются мерительные инструменты и представить их эскизы [2, 4, 11, 13]. Выбор инструментов зависит также от типа производства.

Контроль разнообразных деталей включает проверку диаметров отверстий и шеек, длин участков, отклонений формы и расположения поверхностей, размеров отдельных конструктивных элементов (шпоночных канавок, шлицевых поверхностей, резьб и т.п.). Помимо этого, проводят контроль твердости деталей и шероховатости их поверхностей.

В сельхозмашиностроении при серийном и массовом производствах контроль диаметральных размеров выполняют предельными и индикаторными скобами и двухсторонними пробками; проверка длин участков – с помощью линейных скоб или предельных шаблонов. При мелкосерийном производстве используют универсальный инструмент: штангенциркули; микрометры; линейки. Контроль некруглости (овальность, огранка, бочкообразность), изогнутость, перпендикулярности осей и биение осуществляют после установки детали в центрах или на призмах, используя индикаторы или миниметры. Для контроля фасок и галтелей применяют шаблоны. Шпоночные пазы и шлицы контролируют калибрами, резьбы на валах – резьбовыми кольцами: проходного – полного профиля и непроходного – укороченного профиля [4, 11]. Контроль шероховатости можно осуществлять двумя способами:

- сравнением реальной поверхности изделия с эталоном визуально;
- количественные замеры профилометрами или профилографами.

Измерения проводят в направлении, перпендикулярном главному движению при резании [2, 4].

Вращающиеся детали (роторы) подвергают балансировке [21, 24]. При необходимости проектант должен выбрать и обосновать метод балансировки, предложить метод корректировки центра масс ротора. Обычно статическую балансировку применяют для изделий, у которых $L/D < 3$ и скорость вращения $V < 6$ м/с. В других случаях необходима динамическая балансировка. Дебалансы уменьшают с помощью корректирующих масс, которые добавляют или удаляют из ротора или же перемещают по нему.

Центральное отверстие ротора должно обеспечивать посадку на вал, соответствующую характеру нагрузки. Посадка может быть переходной ($\pm 0,03$ мм) при легких нагрузках или с натягом при тяжелых и ударных нагрузках.

Специфическое требование предъявляют к качеству изготовления зубчатого венца шестерен. В соответствии с ГОСТ зубчатые передачи должны удовлетворять требованиям по:

- кинематической точности;
- плавности работы;
- боковому зазору между зубьями;
- величине и расположению контакта между зубьями спаренных шестерен [4].

В зависимости от степени ответственности проектируемой передачи и характера передаваемой нагрузки каждое из вышеуказанных требований может быть основным. В тракторах, кранах и сельхозмашинах применяют передачи 8-11 степеней точности.

В планетарных передачах основным требованием является кинематическая точность. В высокоскоростных передачах главное внимание уделяют плавности хода. В реверсивных передачах главное требование предъявляется к оптимальной величине бокового зазора. В средне и тяжело нагруженных передачах необходим контроль пятна контакта [5, 13].

Проектант должен назначить соответствующие виды контроля в зависимости от условий работы зубчатой передачи, по ГОСТ 1758-81 и ГОСТ 1643-81 определить допуск на вышеуказанные нормы точности и наметить методы и средства контроля. Наиболее распространенными зубомерными инструментами являются: штангензубомер; шагомер; нормалемер; межцентромер. Для комплексной оценки точности изготовления зубьев используют также приспособление, на котором установлено колесо эталона с регулируемым положением.

Разнообразному контролю подвергают корпусные детали. При проверке их плоскостей измеряются непрямолинейность, неплоскостность, шероховатость и наличие дефектов (раковины, забоины и т.д.). Непрямолинейность проверяют с помощью лекальных линеек и щупов. Для контроля неплоскостности непрямолинейность плоскости измеряется в различных сечениях. Отклонение плоскости от параллельности измеряют с помощью контрольной плиты и индикаторной головки, закрепленной на этой плите. Отклонение от перпендикулярности плоскостей детали устанавливается с помощью лекальных угольников и щупов. Взаимное расположение отверстий и плоскостей определяют с помощью контрольных приспособлений [11].

В проекте необходимо предусмотреть все виды контроля сборочных работ, которые проводятся в заводских и полевых условиях. *Например*, в цехе необходимо проверить комплектность изделия, качество окраски, надежность резьбовых соединений, качество консервации отдельных поверхностей и т.д. В полевых условиях после настройки и приработки машины контролируют натяжение ременных и цепных передач, тормозную систему, степень нагрева трущихся поверхностей и т.д. Характер контрольных мероприятий определяют с учетом условий работы и конструкции изделия.

9 Предложения о повышении технологичности объекта проектирования

Развитие машиностроения базируется на постоянном совершенствовании изделий, снижении затрат на подготовку их производства, изготовление и эксплуатацию. Поэтому выполненный проект должен оканчиваться указанием перспектив повышения технологичности деталей, СЕ машины в целом. Выполняя этот важный раздел, проектант должен обратить внимание на:

- унификацию отдельных элементов деталей (фаски, шероховатость, расположение шпоночных пазов и др.) или деталей в СЕ;
- уменьшение износа трущихся частей деталей за счет использования специальных съемных вкладышей, более эффективной смазки, различных способов снижения коэффициента трения;

- уменьшение припусков на обработку за счет целесообразного выбора заготовок и предварительной их подготовки перед мехобработкой, применения процессов вытяжки, высадки и обработки лазером [2, 19];
- снижение материалоемкости при одновременном обеспечении достаточной долговечности изделий за счет применения пластмасс, легких сплавов на основе алюминия, спеченных порошковых материалов [9];
- применение более точных и производительных способов соединения деталей (шовная сварка, эвольвентные шлицевые соединения и др.);
- проектирование технических средств механизации операций сборки (приспособления для сборки упругих элементов, клепки сегментов в полевых условиях, ориентации деталей и т.д.) [5];
- совершенствование стыковых поверхностей деталей в соединяемых СЕ.

Предложения о совершенствовании проектируемого изделия следует обосновать, а в некоторых случаях оформить чертежом. Более высокой степенью обоснованности предложений является функционально-стоимостной анализ [24].

Перечень использованных информационных ресурсов

1. Александров А.И. и др. Сопротивление материалов: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 560 с.
2. Бабичев А.П., Тамаркин М.А., Рысева Т.Н. Формирование параметров качества поверхностей, определяющих эксплуатационные свойства деталей машин: текст лекций / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1990. – 51с.
3. Шеповалев В.Д. Автоматизация уборочных процессов - М.: Колос, 1978 – 383 с.
4. Палей М.Н. Допуски и посадки. В 2-х ч. – СПб: Политехника, 2001.
5. Зуев А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2003. – 446 с.
6. Иванцов В.И. Использование графов при конструировании и разработке техпроцесса изготовления изделий: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005. – 102 с.
7. Иванцов В.И. Выбор и обоснование вида заготовок для деталей сельхозмашин: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 16 с.
8. Иванцов В.И., Кудряков О.В. Защитно-декоративные покрытия изделий машиностроения. Ч.1, 2. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999.
9. Иванцов В.И., Кудряков О.В. Материалы в сельскохозяйственном машиностроении. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1994. – 42 с.
10. Карякина М.И. Лакокрасочные материалы для защиты сельскохозяйственной техники. – М.: Химия, 1985. – 112 с.
11. Пучин Е.А. Надёжность технических систем. – М.: УМЦ Триада, 2005. – 351 с.
12. Иванцов В.И. Расчет количественных показателей технологичности изделий сельскохозяйственного машиностроения: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007.
13. Баранов А.А., Воскресенский Е.А. Технология сельскохозяйственного машиностроения: учеб. пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005.
14. Мельников А.С. Влияние достижения показателей точности машины на организацию сборочного процесса: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 48 с.
15. Иванцов В.И., Муратов Д.К. определение типа и характера производства на этапе проектирования изделий: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013.
16. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного типов производства. – М.: Экономика, 1991. – 159 с.

17. Общемашиностроительные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках: единичное, мелкосерийное и среднесерийное производство.— М.: Экономика, 1989. — 426 с.
18. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-метод. пособие. В 2 кн. Кн.2. — М.: Машиностроение, 1988. — 542 с.
19. Долгорукий В.В. и др. Приводы машин: справочник. - Л.: Машиностроение, 1982. — 383 с.
20. Курчаткин В.В. Надёжность и ремонт машин — М.: Колос, 2000. — 376 с.
21. Справочник конструктора сельхозмашин / Под ред. М.И. Клёцкина. В 4 т. — М.: Машиностроение, 1969.
22. Справочник конструктора машиностроителя. В 8 т. / Под общ. ред. Д.А.Великородова. Т.3. Передачи и зацепления. ВПМИ, 1991.
23. Технологичность конструкции изделия: справочник / Ю.Д.Амиров, Т.К.Алферова, П.Н.Волков и др. — М.: Машиностроение, 1990. — 768 с.
24. Ткачёв В.А. Методы повышения долговечности сельскохозяйственных машин (эксперимент, практика, рекомендации) — М., 1993. — 211 с.