

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроения»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ В.И. Гузев
_____ 2017 г.

Проектирование участка механической обработки детали «Шестерня
двойная» с разработкой конструкторско-технологического обеспечения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 15.03.05.2017.413 ПЗ ВКР

Нормоконтролер

Л.В. С. 2017 г

Руководитель, доцент
_____ П.В. Шаламов
_____ 2017 г.

Автор работы,
студент группы П-452
_____ Л.Е. Десяткова
_____ 2017 г.

Челябинск 2017

АННОТАЦИЯ

Десяткова Л.Е. Проектирование участка механической обработки детали «Шестерня двойная» с разработкой конструкторско-технологического обеспечения. – Челябинск: ЮУрГУ, П-452, 123 с., 63 ил., 16 табл., библиогр. список – 29 наименов., 0 прил., 11 л. плакатов ф. А.1

Повышение производительности при сохранении качественных показателей – это то, к чему стремятся современные производства. Достичь этой цели можно за счет внедрения нового оборудования, автоматизацией процессов, улучшением технологических процессов обработки деталей.

Цель выпускной квалификационной работы – проектирование участка механической обработки детали «Шестерня двойная» с разработкой конструкторско-технологического обеспечения для условий современного конкурентоспособного производства. В работе решались такие задачи как: анализ действующего технологического процесса, выбор способа заготовки, выбор оборудования, стандартного режущего инструмента и проектирование специального, расчет режимов резания, автоматизация процесса обработки, меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности, разработка планировки.

Результатом является проектный технологический процесс обработки детали с разработкой участка механической обработки.

					15.03.05.2017.413 ПЗ			
Изм	Лист	№ док-м	Подп.	Дата				
Разраб	Десяткова Л.Е.				<i>Проектирование участка механической обработки детали «Шестерня двойная» с разработкой конструкторско-технологического обеспечения</i>	Илл.	Табл.	Листов
Проез	Шаламов П.В.					7	7	123
Н. Констр.					<i>ЮУрГУ Кафедра ТАМ</i>			
Чтб.								

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ.....	12
1.1 Назначение, условия эксплуатации и описание узла изделия	12
1.2 Служебное назначение детали «Шестерня двойная» и технические требования, предъявляемые к детали	13
1.3 Аналитический обзор и сравнение зарубежных и отечественных технологических решений для соответствующих отраслей машиностроения.....	15
1.4 Формирование целей и задач выполнения квалификационной работы	19
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	20
2.1 Анализ существующей на предприятии документации по конструкторско-технологической подготовке действующего производства.....	20
2.1.1 Анализ операционных карт действующего технологического процесса	21
2.1.2 Анализ технологического оборудования, применяемой технологической оснастки и режущего инструмента.....	30
2.1.3 Размерно-точностной анализ действующего технологического процесса	31
2.1.4 Вывод по разделу.....	35
2.2 Разработка проектного варианта технологического процесса изготовления детали «Шестерня двойная»	35
2.2.1 Аналитический обзор, выбор и обоснование способа получения исходной заготовки	35
2.2.2 Аналитический обзор и выбор основного технологического оборудования.....	36
2.2.3 Формирование операционно-маршрутной технологии проектного варианта.....	43

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

2.2.4	Размерно-точностной анализ проектного варианта технологического процесса	47
2.2.5	Расчет режимов резания и норм времени на все операции проектного варианта технологического процесса	52
2.2.6	Выводы по разделу	62
3	КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	63
3.1	Аналитический обзор и выбор стандартизированной технологической оснастки	63
3.2	Проектирование и расчет специального станочного приспособления.....	67
3.3	Аналитический обзор и выбор стандартизированного режущего инструмента.....	69
3.4	Проектирование и расчет специального режущего инструмента....	75
3.4.1	Расчет и проектирование червячной фрезы.....	75
3.4.2	Проектирование долбяка	84
3.5	Выбор измерительного оборудования и оснастки на операциях технического контроля	91
4	АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	98
4.1	Анализ возможных направлений по автоматизации технологического процесса изготовления детали.....	98
4.1.1	Наличие в технологическом процессе слесарных, универсальных или специальных операций	98
4.1.2	Возможность встраивания основного оборудования в ГПС..	98
4.1.3	Концентрация переходов на операциях механической обработки.....	99
4.1.4	Габаритные размеры детали	99
4.1.5	Наличие поверхностей для захвата.....	99
4.2	Разработка структурной схемы гибкого производственного участка.....	100
4.2.1	Определение характеристик стеллажа-накопителя	100
4.2.2	Расчет числа позиций загрузки и разгрузки	101

4.2.3	Расчет числа позиций контроля	101
4.2.4	Проектирование предварительной компоновочной схемы ГПС 103	
4.2.5	Определение числа подвижных транспортных механизмов АТСС	106
4.3	Выбор оборудования для функционирования автоматизированной системы (промышленные роботы, накопителя, транспортные системы, складские системы)	107
4.4	Базирование заготовки, полуфабриката, готовой детали в промышленном роботе, транспортном устройстве, промежуточном накопителе	109
4.5	Анализ производительности автоматизированной системы.....	112
5	ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЧАСТЬ	113
6	БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ	114
6.1	Мероприятия и средства по созданию безопасных и безвредных условий труда	114
6.2	Мероприятия по электробезопасности	116
6.3	Мероприятия по пожарной безопасности	117
7	ВЫВОДЫ ПО КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ.....	119
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	121

ВВЕДЕНИЕ

Активное техническое и технологическое развитие – черта современного развивающегося предприятия. Повсеместно применяется станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, современная оснастка и инструмент, внедряются в работу САД и САМ системы, промышленные роботы. По этой причине возникает необходимость разработки новых технологических процессов обработки деталей, удовлетворяющим условиям гибкого современного производства.

Цель выпускной квалификационной работы – проектирование участка механической обработки детали, удовлетворяющего требованиям современного автоматизированного производства, с разработкой конструкторско-технологического обеспечения.

В работе производится анализ действующей конструкторско-технологической документации, разработка проектного варианта технологического процесса для условий современного автоматизированного производства, производится выбор оборудования, режущего инструмента и оснастки, разрабатывается планировка участка механической обработки.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1 Назначение, условия эксплуатации и описание узла изделия

Шестерня двойная является частью узла первого вала подающей части, который представлен на рисунке 1. Узел первого вала подающей части – один из элементов машины врубовой и служит для регулирования скорости вращения промежуточного вала 8.

Крутящий момент на вал-шестерню 8 передается двумя способами – путем сцепления муфты зубчатой 7 с зубьями венца вала 8 и шестерни 1 или сцеплением муфты 7 с зубьями зубчатого венца вала 8 и малого зубчатого венца шестерни двойной 6. Соответственно, регулирование скорости вращения вала 8 осуществляется за счет реализации одного из вариантов сцепления. Узел работает при высоких нагрузках, а шестерни 6 и 1 постоянно вращаются, поэтому появляется вероятность перегрева.

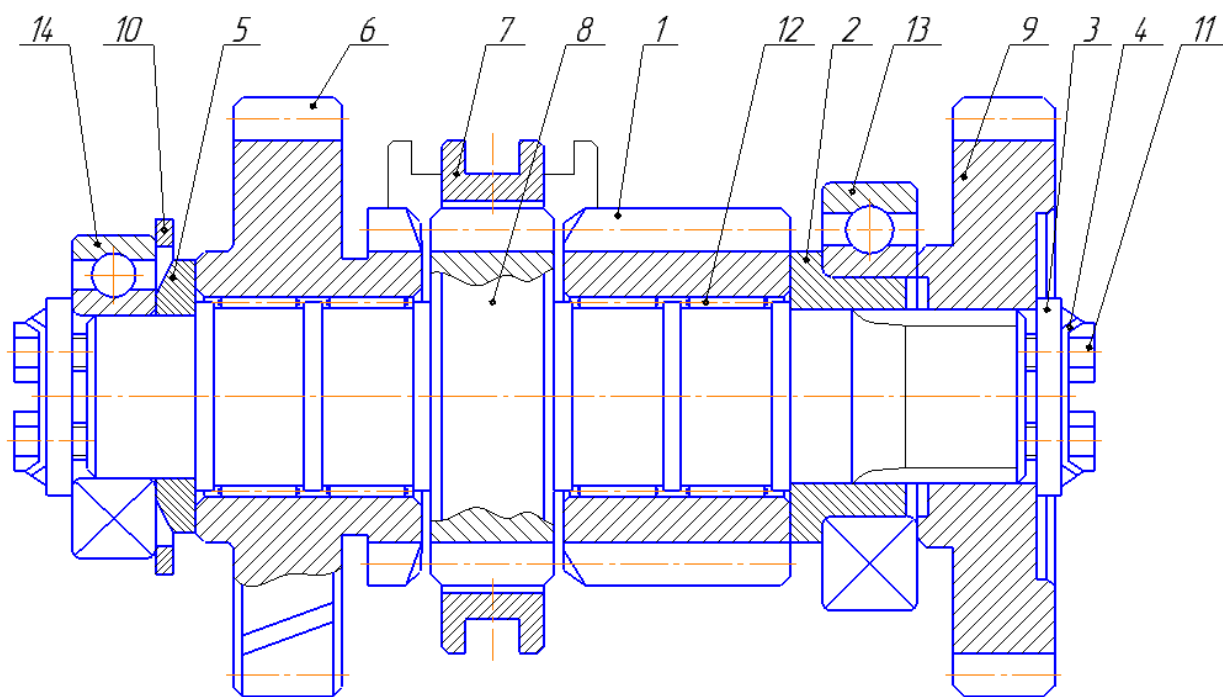


Рисунок 1 – Схема узла первого вала

Узел состоит из:

1 – шестерня $z = 15$, $m = 6$;

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

- 2 – втулка;
- 3 – шайба упорная;
- 4 – планка стопорная;
- 5 – кольцо упорное;
- 6 – шестерня двойная;
- 7 – муфта зубчатая;
- 8 – вал-шестерня;
- 9 – колесо $z = 27, m = 5$;
- 10 – кольцо;
- 11 – болт М12-8g×25.46 ГОСТ 7796-70;
- 12 – ролик игольчатый 3x23,8A3 ГОСТ 6870-81;
- 13 – подшипник 212 ГОСТ 8338-75;
- 14 – подшипник 309 ГОСТ 8338-75.

1.2 Служебное назначение детали «Шестерня двойная» и технические требования, предъявляемые к детали

Деталь «Шестерня двойная» предназначена для передачи крутящего момента на вал-шестерню путем сцепления зубьев малого венца с зубьями венца вала-шестерни 8 при помощи муфты 7. К детали 6 (рисунок 2), предъявляется ряд технических обоснованных требований.

Наиболее жесткие требования размерной точности и шероховатости предъявляются к посадочному отверстию детали. Это объясняется установкой детали на ролики игольчатые, плавностью, меньшим нагревом и замедленным износом.

Требования по шероховатости торцовых поверхностей обусловлены достаточно малым зазором между этими поверхностями и поверхностями соседних деталей, чтобы уменьшить трение между ними.

Требования к торцовому биению правого торца детали предъявляются из-за обеспечения равномерной работы зубьев шестерни, требования к

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

левому торцу объясняются плотностью прилегания поверхности шестерни к сопряженной детали.

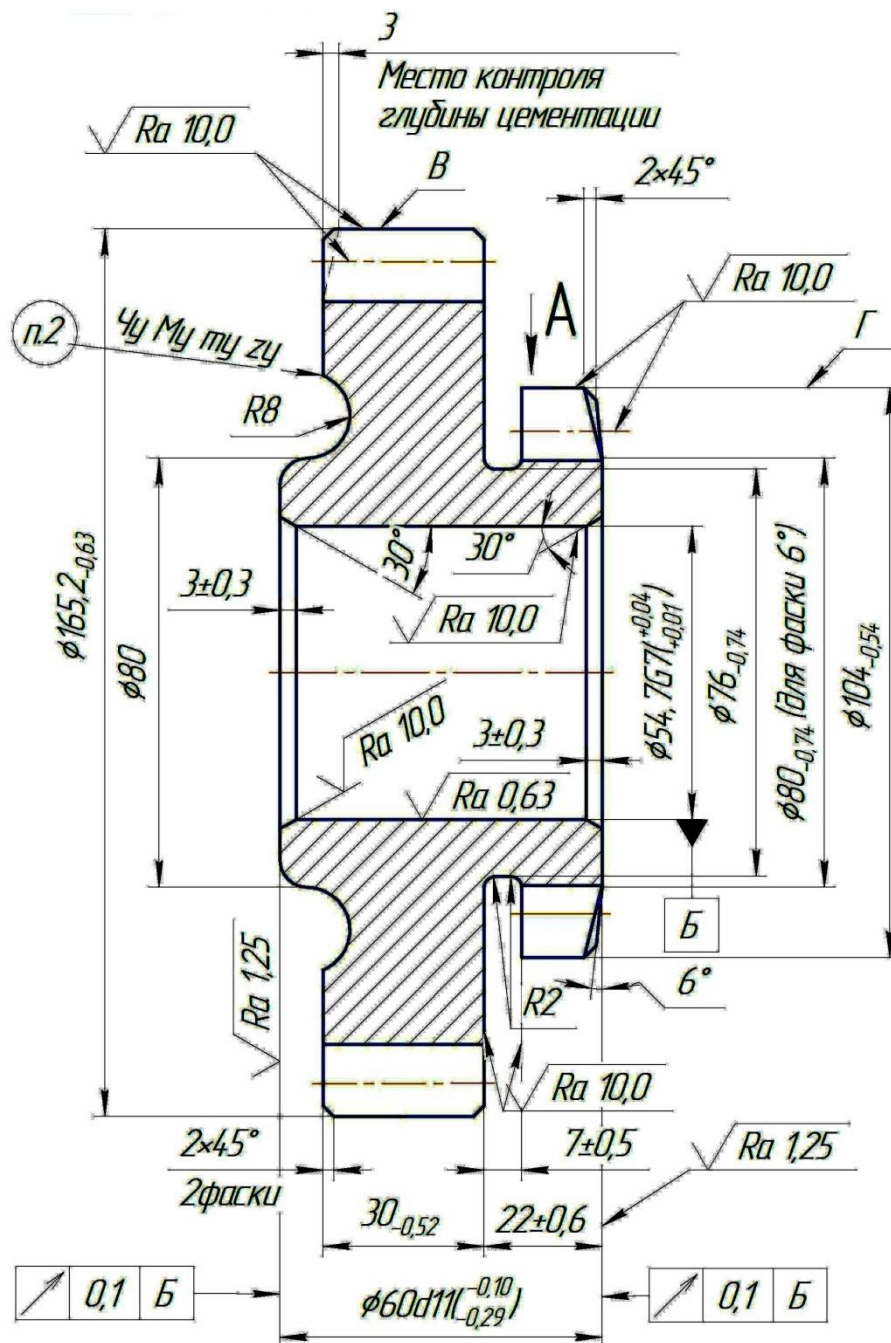


Рисунок 2 – Шестерня двойная

Поверхностный слой шестерни подвергается цементации до твердости 57...63 HRC (или 555...632 HB) для увеличения износостойкости, а

сердцевина остается мягкой, понижается риск поломки детали при превышении нагрузки.

1.3 Аналитический обзор и сравнение зарубежных и отечественных технологических решений для соответствующих отраслей машиностроения

В современных условиях развития науки и техники существуют различные разработки как в способах получения заготовок зубчатых колес, так и в методах их обработки.

Свободная ковка на молотах, заготовка из проката, штамповка, выполняемая на молотах и прессах – методы получения заготовок, которые наиболее часто применяются на предприятиях. Одно из направлений заготовительного производства – разработка способа получения заготовок, форма которых максимально схожа с формой готовой детали.

В Германии применяется метод горячей торцевой штамповки, позволяющий получать цилиндрические зубчатые колеса, которые не требуют последующей механической обработки. Схема торцевой штамповки приведена на рисунке 3.

Пуансон формирует один торец изделия, матрица (находится в нижней половине штампа) имеет вид кольца, форма которого противоположна получаемой шестерни. В середине зубчатой матрицы располагается цилиндрический вкладыш, который под воздействием толкателя может подняться до верхней границы зубчатой матрицы. Пуансон и вкладыш имеют конические кольцеобразные выступы для оформления торцов изделия и облегчению течения металл в радиальном направлении (уклон к центру поковки более крутой, в направлении зубчатого венца – пологий). Разъем штампа в плоскости, которая совпадает с торцевой поверхностью заготовки.

Процесс штамповки следующий: заготовка, нагретая до температурыковки, помещается в полость нижнего штампа, выступы на оси штампа

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

внедряются в заготовку – формирование отверстия поковки, по мере сближения верхней и нижней половин штампа конические кольцевые выступы на пути течения металла образуют сужения, способствующие возрастанию скорости и, как следствие, кинетической энергии перемещения металла в радиальном направлении. Такое течение металла обеспечивает более плотное заполнение ручьев матрицы. Поковка удаляется из штампа при помощи выталкивателя. В штампах такой конструкции получают зубчатые колеса формы, показанной на рисунке 4.

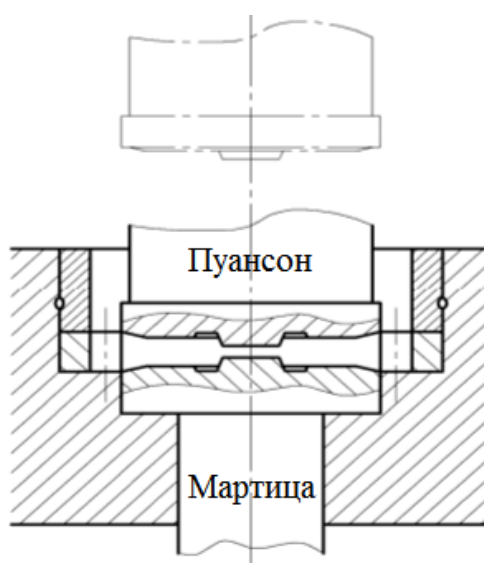


Рисунок 3 – Метод торцевой штамповки

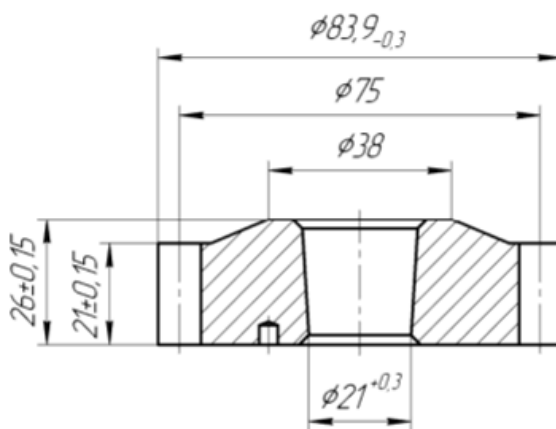


Рисунок 4 – Заготовка, полученная методом торцевой штамповки

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

Разрабатываются методы пластического деформирования путем сочетания различных способов. Пример установки для комбинированного выдавливания с разъемными матрицами изображен на рисунке.5

Когда штамп раскрыт (положение а), заготовка помещается в нижнюю полуматрицу 4. Верхняя 2 и нижняя 4 полуматрицы смыкаются вниз и запираются поворотом кулачков 1 (положение б), под воздействием пуансонов 3 и 5 происходит деформация заготовки: металл течет в прямом (по направлению движения пуансонов), в обратном (против движения пуансонов), а так же перпендикулярно движению пуансонов (радиальное течение). Такое истечение обеспечивает хорошее заполнение полостей матрицы при малых силах деформирования. Но получать заготовки зубчатых колес с круговым зубом таким способом невозможно.

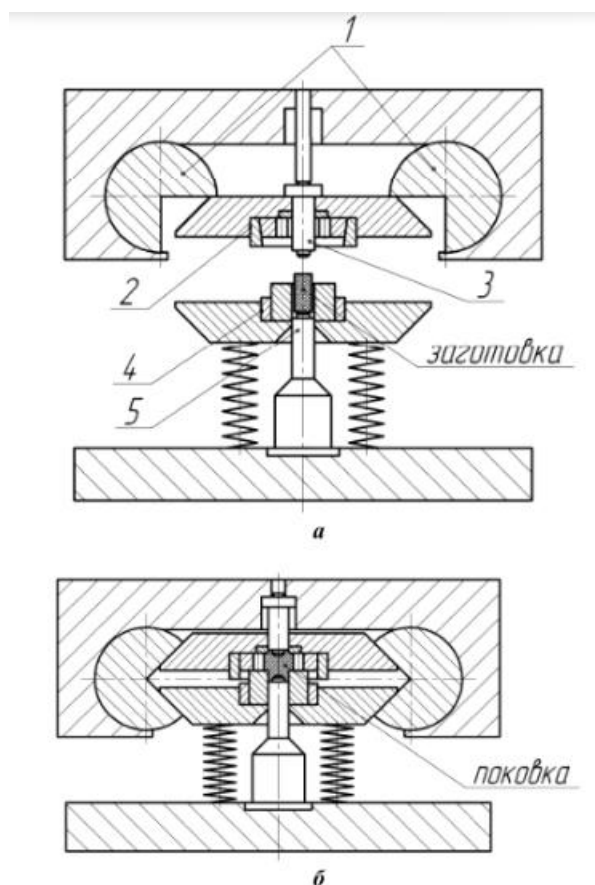


Рисунок 5 – Штамп для комбинированного выдавливания с разъемными матрицами: а) заготовка установлена в штамп; б) рабочее состояние

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

15.03.05.2017.413 ПЗ

Лист

17

В отечественной и зарубежной промышленности ведутся разработки по получению зубчатых колес из порошков. Наибольшее распространение получил метод горячей обработки давлением. Этот способ обеспечивает высокую производительность, позволяет получать готовые зубчатые колеса требуемой конструкции, не требующих последующей механической обработки (если отсутствуют специальные требования к чистоте зубчатой поверхности). Однако недостатком порошковой металлургии является наличие в объеме готовой детали пор, снижающих механические свойства изделия, поэтому способ пока не получил широкого применения.

Большое внимание уделяется также оборудованию для обработки зубчатых колес. Разработкой оборудования, отвечающим различным требованиям современного производства, занимаются различные фирмы по всему миру, но самой преуспевающей в этой сфере из стран является Германия.

Фирма Boehringer (Германия) разработала линейку токарных станков серии NG для комплексной механической обработки заготовок зубчатых колес: при обработке торцов оба конца вала одновременно обрабатываются в размер длины детали и центрируются за одну фрезерно-центровальную операцию, а при последующем переходе осуществляется обработка точением. Преимущества: использование одного станка вместо двух, сокращение технологической цепочки, сокращение времени цикла обработки [2].

Компания Gleason разработала способ шлифования зубчатых колес MITEC, который имеет преимущества по сравнению с обычным процессом притирки зубчатой пары после термообработки: обычно зубчатое колесо и шестерня притираются и обрабатываются совместно (в таком случае они не являются взаимозаменяемыми и должны обрабатываться, храниться и транспортироваться совместно), разработанный метод обработки MITEC позволяет получать взаимозаменяемые шестерни и зубчатые колеса,

									Лист
									18
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

осуществлять обработку рабочих поверхностей зубчатых колес с требуемой точностью.

Фирма Oerlikon (Швейцария) предлагает станки моделей G27, G60, G80, в которых шпиндель расположен вертикально, обеспечивая оптимальный и беспрепятственный отвод стружки и непопадание ее на приводы, потому что они расположены выше зоны обработки.

В России прогресс, к сожалению, не достиг столь высокого уровня, поэтому современное оборудование предприятия вынуждены закупать у зарубежных поставщиков, однако в свете последних событий на экономической арене появляется надежда, что разработки современного оборудования станут частью технического развития страны.

1.4 Формирование целей и задач выполнения квалификационной работы

Цель квалификационной работы – проектирование участка механической обработки детали «Шестерня двойная» с разработкой конструкторско-технологического обеспечения.

При выполнении работы решаются следующие задачи:

- описание узла, в который работает деталь, и его назначение;
- описание служебного назначения детали;
- анализ существующей на предприятии документации по конструкторско-технологической подготовке действующего производства;
- разработка проектного варианта технологического процесса изготовления детали;
- размерный анализ действующего и проектного вариантов технологических процессов;
- подбор и разработка режущего инструмента, приспособлений;
- выбор средств измерений на операциях технического контроля;
- разработка способов автоматизации процесса производства;
- разработка ГПС и планировки участка механической обработки.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Анализ существующей на предприятии документации по конструкторско-технологической подготовке действующего производства

Анализ чертежа выявил несоответствие указания пункта маркировки на детали с номером, указанным в технических требованиях, обозначение шероховатости поверхностей не соответствует ГОСТ 1.309-73 ЕСКД. Обнаружено несимметричность контуров левого выступа друг другу относительно оси детали.

Технологический процесс оформлен в соответствии со стандартом предприятия, отличия в оформлении по государственному стандарту заключаются в следующем: имеются свои коды профессий, коды операций, операции не нормируются непосредственно в технологическом процессе, так же не указываются режимы резания, вначале присутствует сводная карта с указанием операций, кодов профессий, оборудования, штучным временем, количеством деталей, отсутствует карта внесения изменений.

Следует отнести к недостаткам ошибки в оформлении технологической документации, например, габариты заготовки, указанные в маршрутной карте, не совпадают с размерами, указанными на эскизе заготовки, в описании перехода на операции 110 токарно-револьверной неверно указаны выдерживаемые размеры, на 115 операции отсутствует наименование резца для точения поверхности и указаны не все выдерживаемые размеры, на 225 токарно-винторезной операции пропущен необходимый переход для получения заданного конструкторского размера и не указан режущий инструмент для расточки радиуса, в операционном эскизе отсутствует обозначение упора, код операции маркирования в операционной карте не сходится с кодом из маршрутной карты.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

2.1.1 Анализ операционных карт действующего технологического процесса

Данный технологический процесс имеет 23 операции, из которых 9 являются операциями механической обработки.

Операция 110 токарно-револьверная. На этой операции проводится точение наружной поверхности на токарно-револьверном станке AP-41. При закреплении заготовки в патроне с упором по торцу необработанная торцевая поверхность является опорной базой, а двойной направляющей базой является ось заготовки (скрытая база). Т.к. торцевая поверхность не обработана, то может возникнуть неопределенность базирования, тогда базы будут установочной и двойной опорной соответственно. Эскиз представлен на рисунке 6.

Используемый режущий инструмент: резец токарный проходной отогнутый 2102-0083 ГОСТ 18877-73 с пластиной из твердого сплава Т5К10.

Используемый измерительный инструмент:

- ШЦ II-250-0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;
- ШЦ I-125-0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89.

Станочное приспособление: 7100-0016 патрон самоцентрирующий трехкулачковый ГОСТ 2675-80.

Операция 115 токарно-револьверная. Выполняется подрезка торцов, точение наружной поверхности, точение фаски, засверливание центровых отверстий, сверление отверстия, рассверливание отверстия, расточка отверстия, расточка фаски. Обработка производится на токарно-револьверном станке AP-41. Эскиз изображен на рисунке 7. При закреплении заготовки в патроне с упором по торцу торцевая поверхность является опорной базой, а двойной направляющей базой является ось заготовки. Неопределенность базирования может проявиться в изменении баз на установочную и двойную опорную соответственно.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		21

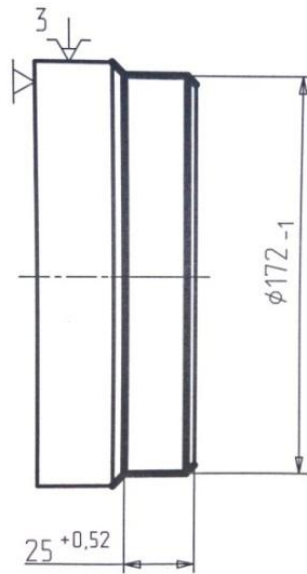


Рисунок 6 – Операционный эскиз 110 операции

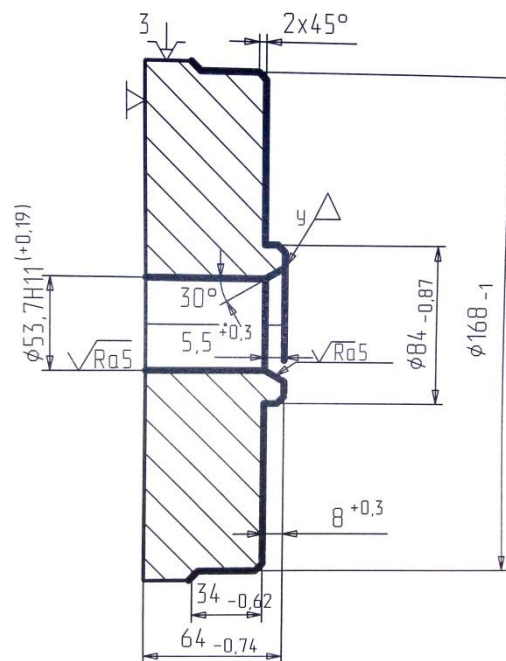


Рисунок 7 – Операционный эскиз 115 операции

Режущий инструмент:

- 2102-0083 резец ГОСТ 18877-73 Т5К10;
- 2317-0137 сверло ГОСТ 14952-75;
- 2301-0087 сверло ГОСТ 10903-77;

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

- 2301-0153 сверло ГОСТ 10903-77;
- 2140-0030 резец ГОСТ 18882-73 Т5К10.

Измерительный инструмент:

- 8101-3178 шаблон специальный 64_{0,74};
- ШЦ I–125–0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;
- ШЦ II–250–0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;
- 8141-5109 пробка специальная Ø53,7Н11.

Станочное оборудование:

- 7100-0016 патрон ГОСТ 2675-80;
- 6224-4006 оправка СТП 530–1221-88;
- 6105-0071 втулка ГОСТ 17178-78;
- 6105-0072 втулка ГОСТ 17178-78.

Операция 120 токарно-револьверная. На операции выполняется подрезка торцов, точение наружной поверхности, фасок, расточка фаски на токарно-револьверном станке АР-41. Эскиз операции приведен на рисунке 8. При закреплении заготовки в патроне с упором по торцу торцевая поверхность является опорной базой, а двойной направляющей базой является ось заготовки. Неопределенность базирования может проявиться в изменении баз на установочную и двойную опорную соответственно.

Применяется следующий режущий инструмент:

- 2102-0083 резец ГОСТ 18877-73 Т5К10;
- 2112-4133 резец СТП 244-74;
- 2136-5113 резец специальный 30⁰.

Измерительный инструмент:

- 8101-3130 шаблон специальный 63_{0,74};
- ШЦ II-250-0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;
- ШЦ I-125-0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;
- 8371-0568 шаблон специальный 30⁰.

Станочное приспособление: 7100-0016 патрон ГОСТ 2675-80.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

Операция 185 прошивочная. На операции происходит прошивание отверстия, для этого используется пресс гидравлический П6334М. Эскиз операции представлен на рисунке 9. В качестве установочной базы выступает торцевая поверхность.

Режущий инструмент: прошивка специальная 2430-5516.

Измерительный инструмент: 8141-5110 пробка специальная Ø54,2Н8, ИЧ-10 КЛ.1 577-68 индикатор, штатив ШМ-ПН ГОСТ 10197–70.

Станочное приспособление: кольцо специальное 1081-3164-03.

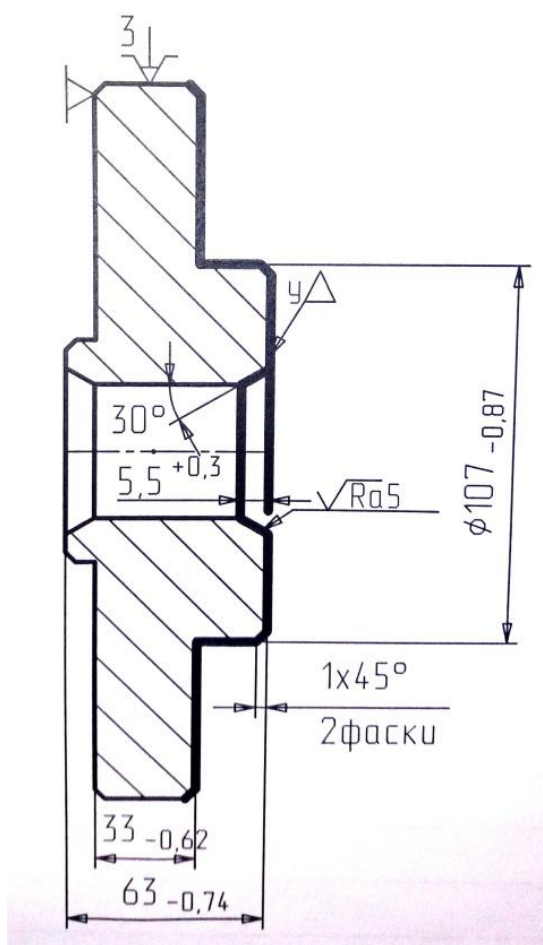


Рисунок 8 – Операционный эскиз 120 операции

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

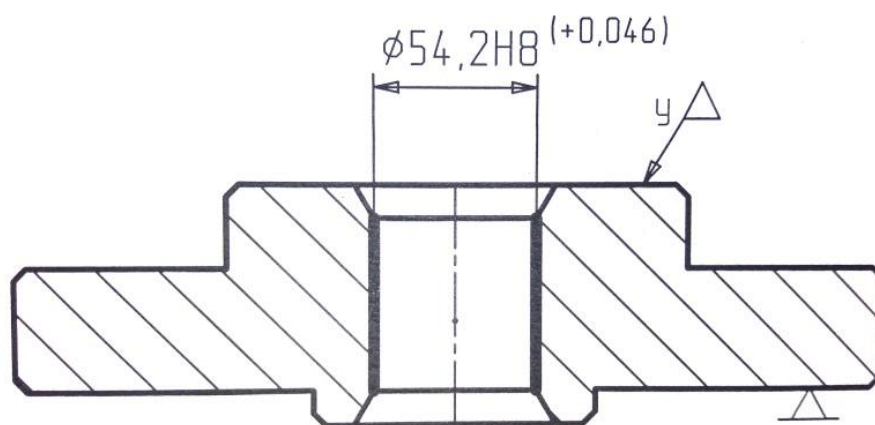


Рисунок 9 – Эскиз 185 операции

Операция 225 токарно-винторезная. Выполняется подрезка торцов, точение наружных поверхностей, канавок, фасок, расточка радиуса на токарно-винторезном станке 1К62Д. Заготовка устанавливается на оправку, лишающую заготовку двух перемещений вдоль осей и двух вращений вокруг этих же осей, т.е. имеет место двойная направляющая база. Эскиз изображен на рисунке 10.

Режущий инструмент:

- 2102-0055 резец ГОСТ 18877-73 Т15К6;
- 2103-0057 резец ГОСТ 18879-73 Т15К6;
- 2130-0017 резец (с подточкой) ГОСТ 18884-73 Т15К6;
- 2112-4133 резец СТП 244-74 Т5К10;
- 2136-5195 резец специальный Т15К6.

Измерительный инструмент:

- 8370-0093 шаблон специальный $3,5 \times 30^0$;
- 8118-0015 калибр-скоба ГОСТ 2216-84;
- 8118-0021 калибр-скоба ГОСТ 2216-84;
- 8315-3232 шаблон специальный $7 \pm 0,5$;
- 8114-6035 скоба специальная $\phi 76_{-0,74}$;
- ШЦ I-125-0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

- 8371-0091 шаблон специальный 6⁰;
- 8103-5681 шаблон специальный 60,3h11;
- шаблон специальный для контроля R8;
- ПБ 1600 прибор ТУ2-034-543-81;
- ИЧ-10 КЛ.1 индикатор ГОСТ 577-68.

Станочное приспособление: 7110-3276 оправка специальная.

Операция 330 зубофрезерная. На операции происходит черновое и чистовое фрезерование зубьев на зубофрезерном станке 53А50Н. В качестве комплекта баз выступают торцевая поверхность, являющаяся опорной базой, и внутренняя цилиндрическая поверхность, являющаяся двойной направляющей, если же основной базирующей поверхностью будет торец, то базы станут установочной и двойной опорной соответственно. Операционный эскиз представлен на рисунке 11.

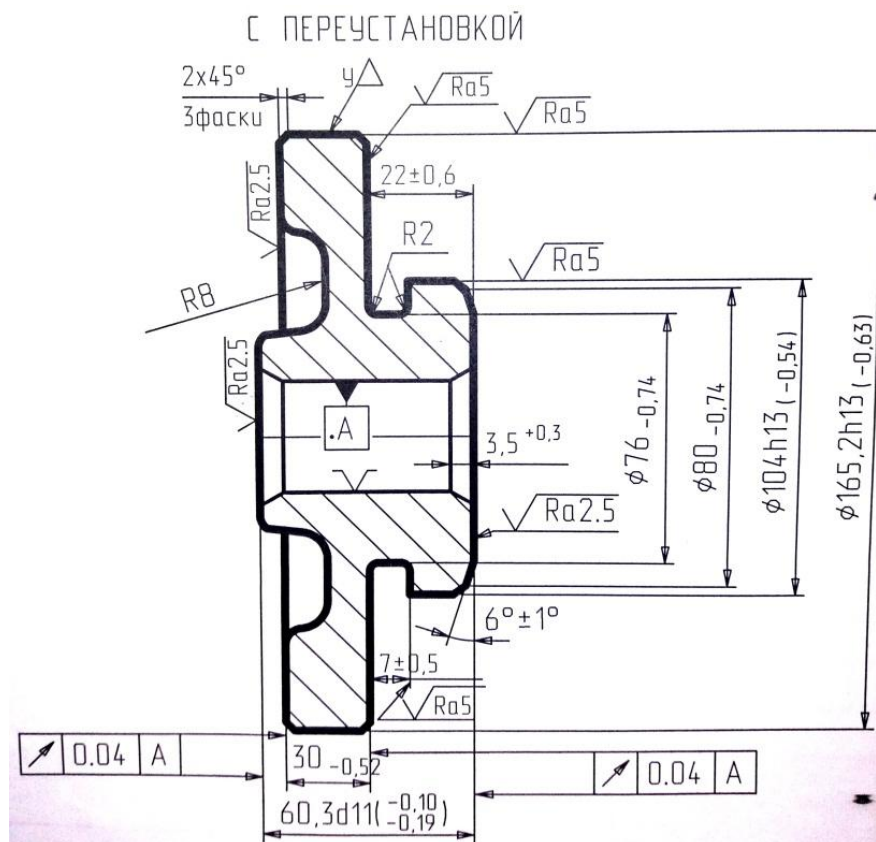


Рисунок 10 – Эскиз 225 операции

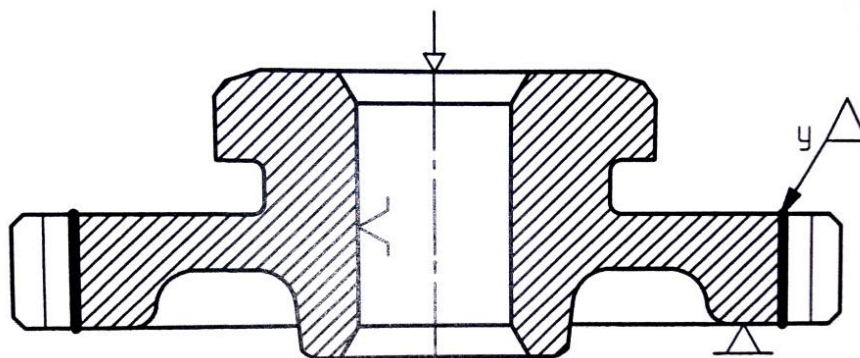


Рисунок 11 – Эскиз 330 операции

Используемый режущий инструмент:

- 2510-4201 фреза ГОСТ 9324-80 ($B_n = 12^0$, $W = 48_{-0,4}$);
- 2510-4201 фреза ГОСТ 9324-80 ($B_n = 12^0$, $W = 46,55_{-0,53}^{-0,37}$);

Измерительный инструмент:

- ШЦ I-125-0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;
- 8107-3424 скоба специальная $W = 46,55_{-0,53}^{-0,37}$;
- ИЧ-10 КЛ.1 индикатор ГОСТ 577-68;
- штатив ШМ-ПН ГОСТ 10197-70;
- ПБ 1600 прибор ТУ2–034.543-81;
- ОДГ-10 головка оптическая делительная ТУ3-3-199-80;
- 7110-8075 оправка СТП 1262-74;
- 8752-5001 шагомер специальный.

Станочное приспособление:

- 7539-3124 оправка специальная;
- 7539-3836 втулка специальная;
- 7539-3099/1 подставка специальная;
- 7539-3163/2 шайба специальная.

Операция 345 зубодолбежная. На зубодолбежном полуавтомате 5М150 происходит чистовое и черновое долбление зубьев. В качестве комплекта баз выступают торцевая поверхность, являющаяся опорной базой,

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ					

и внутренняя цилиндрическая поверхность, являющаяся двойной направляющей. Если основной базующей поверхностью будет торец, то базы станут установочной и двойной опорной соответственно. Эскиз операции приведен на рисунке 12.

Режущий инструмент:

- 2537-5038 долбяк специальный.

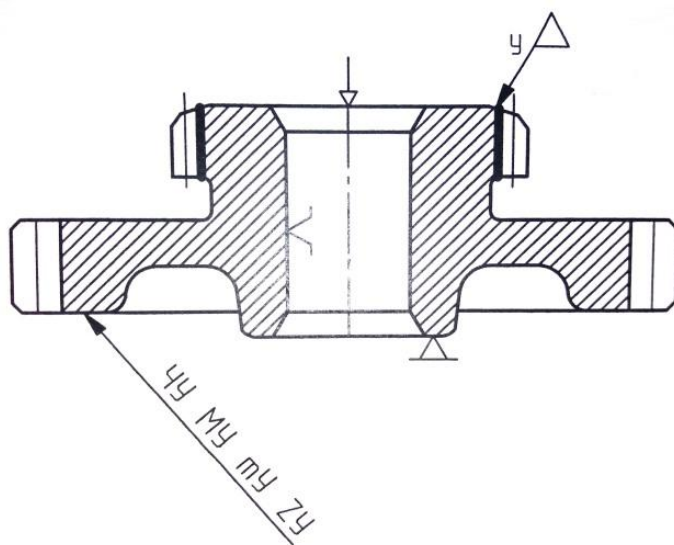


Рисунок 12 – Эскиз 345 операции

Измерительный инструмент:

- ШЦ I-125-0,1 штангенциркуль ГОСТ 166-89;
- 8107-4493 скоба специальная $W = 29,25^{+0,35}_{-0,47}$;
- ПБ 1600 прибор ТУ034.543-81;
- 7110-8075 оправка специальная СТП 1262-74.

Станочное приспособление:

- 7522-3344/004 втулка специальная;
- 7522-3344 оправка специальная.

Операция 575 внутришлифовальная. На операции шлифуется отверстие и торец. Обработка ведется на внутришлифовальном станке 3А228П. В качестве базы выступает наружная поверхность большего

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

зубчатого венца, являющаяся двойной направляющей базой. Эскиз представлен на рисунке 13.

Режущий инструмент: 5 40×40×13 24А 40П СМ2 5К7 35м/с 1кл А
шлифовальный круг ГОСТ 2424-83 .

Измерительный инструмент:

- ИЧ-10 КЛ.1 индикатор ГОСТ 577-68;
- 8141-5111 пробка специальная $\varnothing 54,7G7^{+0,04}_{+0,01}$;
- ПБ 1600 прибор ТУ2-034-543-81;
- 8109-3243 шаблон специальный 60,2h11_{-0,19};
- 7110-8075 оправка СТП 1262-74.

Станочное приспособление:

- 7100-0012 патрон ГОСТ 2675-80;
- кольцо специальное;
- 8753-3004 приспособление для выверки.

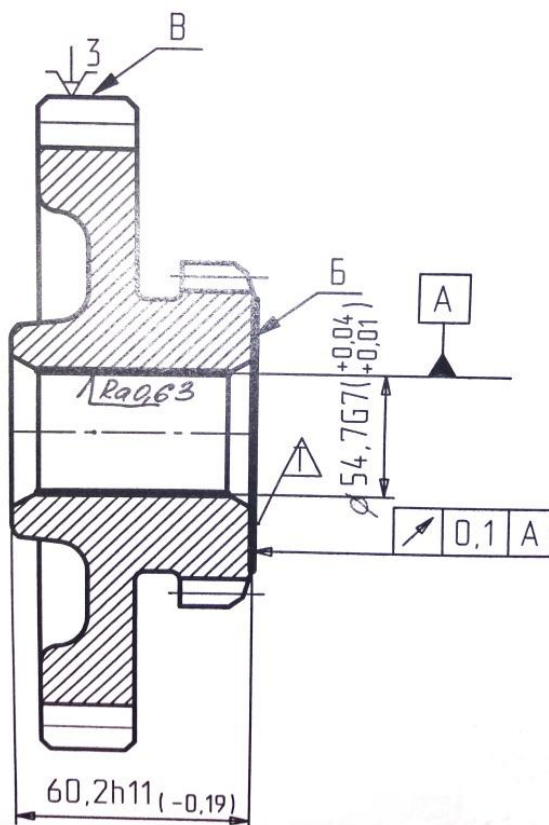


Рисунок 13 – Эскиз 575 операции

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

Операция 595 плоскошлифовальная. На операции выполняется шлифование торца на плоскошлифовальном станке 3Б722. Операционный эскиз представлен на рисунке 14. В качестве базовой поверхности выступает торец малого зубчатого венца, являющийся установочной базой.

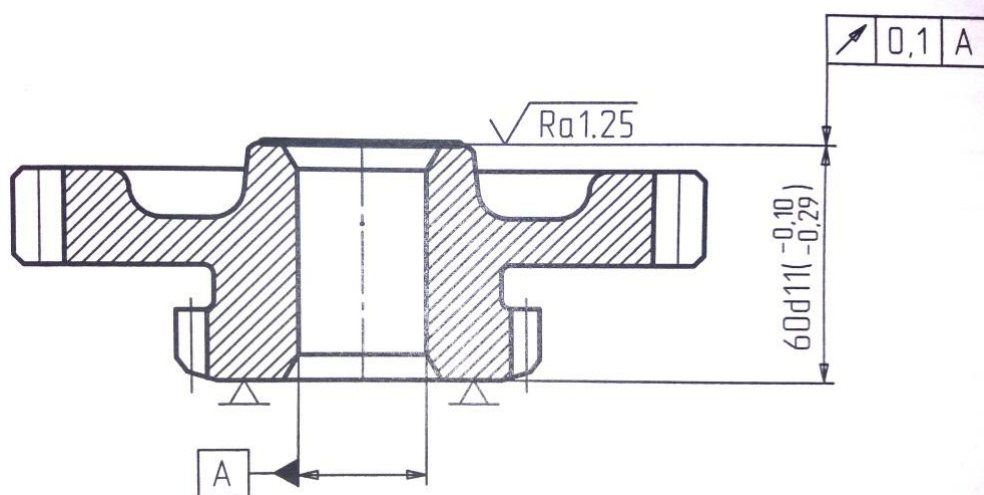


Рисунок 14 – Эскиз 595 операции

Режущий инструмент: 1 450×63×203 24А 32П СМ2 5 К5 35м/с А
шлифовальный круг 1кл ГОСТ 2424-83.

Измерительный инструмент:

- 8103-5034 шаблон специальный $60d11_{-0,29}^{-0,10}$;
- ПБ 1600 прибор ТУ2-0,4-543-81;
- ИЧ-10 КЛ.1 индикатор ГОСТ 577-68;
- 7110-8075 оправка СТП 1262-74.

Станочное приспособление: магнитный стол.

2.1.2 Анализ технологического оборудования, применяемой технологической оснастки и режущего инструмента

Применяемое оборудование, оснастка и инструмент перечислены в пункте выше.

Оборудование, на котором ведется обработка по действующему технологическому процессу, универсальное, т.е. автоматизация отсутствует полностью.

Оснастка универсальная, как и станочные приспособления, за исключением приспособлений для зубообработки, что приемлемо для обработки подобного вида деталей. Для контроля используют стандартный измерительный инструмент, однако имеют место и специальные шаблоны, кольца.

Режущий инструмент в основном универсальный, что обеспечивает эффективность производства, применение специального инструмента сведено к минимуму. Следует отметить, что применяется инструмент с напайными пластинами, в то время как на производстве активно внедряется инструмент с СМП.

Размеры детали вынуждают использовать специальные измерительные инструменты такие как шаблоны, пробки и скобы.

2.1.3 Размерно-точностной анализ действующего технологического процесса

Для данного действующего технологического процесса проведен размерный анализ. Схема линейной размерной цепи представлена на рисунке 15. Размерный анализ действующего технологического процесса проводится с целью проверки выполнения конструкторских размеров и расчета значений припусков. Расчеты выполняются по методу «максимума-минимума», потому что данный метод обеспечивает полную взаимозаменяемость и применим для размерных цепей с числом звеньев не более 5.

В ходе анализа было выявлено замыкающее звено: 48...78. Уравнение этого звена:

$$[48...78] = (78...17) - (17...77) + (77...48) = 60,2_{-0,19} - 60,3_{-0,19} + 22 \pm 0,6 = 21,9_{-0,79}^{+0,79} \text{ (имеется вероятность получения брака).}$$

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

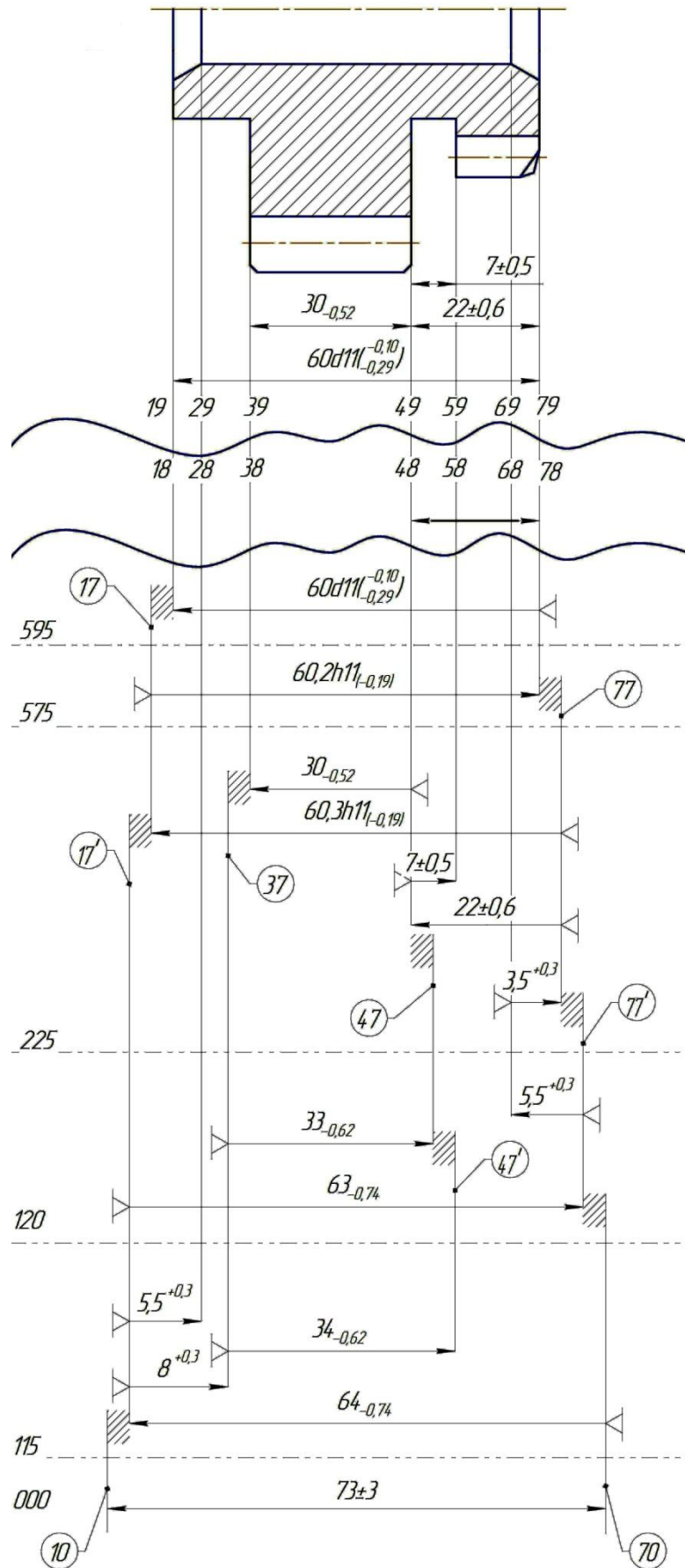


Рисунок 15 – Схема размерной цепи

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

Так же составлены уравнения для припусков и найдены их значения:

- $[18...17] = (17...78) - (78...18).$

$$[18...17] = 60,2_{-0,19} - 60_{-0,29}^{+0,10} = 0,2_{-0,09}^{+0,29};$$

- $[78...77] = (77...17) - (17...78).$

$$[78...77] = 60,3_{-0,19} - 60,2_{-0,19} = 0,1 \pm 0,19 \text{ (минимальная величина}$$

отрицательна, т.е. есть вероятность неснятия металла);

- $[37...38] = -(38...48) - (48...77) + (77...68) - (68...77') +$
 $+ (77'...17') - (17'...37).$

$$[37...38] = -30_{-0,52} - 22 \pm 0,6 + 3,5^{+0,3} - 5,5^{+0,3} + 63_{-0,74} - 8^{+0,3},$$

т.к. составляющих звеньев больше 5, то замыкающее определяется вероятностным методом. Допуск замыкающего звена определяется по формуле:

$$T_{\Delta\Delta} = t \sqrt{\sum \lambda^2 \cdot T_{Ai}^2}, \quad (1)$$

где t – коэффициент, который характеризует процент выхода изделий за пределы поля допуска (при вероятности брака 0,27% $t = 3$), T_{Ai} – величина поля допуска составляющих звеньев, λ – коэффициент, который учитывает закон рассеяния размеров ($\lambda = \frac{1}{\sqrt{6}}$). Тогда допуск замыкающего звена:

$$T_{\Delta\Delta} = 3 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)^2 \cdot (0,52^2 + 1,2^2 + 0,3^2 + 0,3^2 + 0,74^2 + 0,3^2)} = 1,264.$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{0\Delta\Delta}$ есть разница между суммой координат середин полей допусков увеличивающих звеньев $\sum \Delta_{0Aiув}$ и суммой координат середин полей допусков уменьшающих составляющих звеньев $\sum \Delta_{0Aiум}$:

$$\Delta_{0\Delta\Delta} = \sum \Delta_{0Aiув} - \sum \Delta_{0Aiум}, \quad (2)$$

$$\Delta_{0\Delta\Delta} = (0,15 - 0,37) - (-0,26 + 0,15 + 0,15) = -0,26.$$

Верхнее отклонение:

$$B. O. = \frac{T_{\Delta\Delta}}{2} + \Delta_{0\Delta\Delta}, \quad (3)$$

$$B. O. = \frac{1,264}{2} + (-0,26) = 0,372,$$

						15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			33

нижнее отклонение:

$$Н. О. = \frac{T_{\Delta\Delta}}{2} - \Delta_{0\Delta\Delta}, \quad (4)$$

$$Н. О. = \frac{1,264}{2} - (-0,26) = 0,892.$$

Замыкающее звено: $1_{-0,892}^{+0,372}$.

$$\bullet [17' \dots 17] = -(17 \dots 77) + (77 \dots 68) - (68 \dots 77') + (77' \dots 17').$$

$$[17' \dots 17] = -60,3_{-0,19} + 3,5^{+0,3} - 5,5^{+0,3} + 63_{-0,74} = 0,7_{-1,04}^{+0,49} \text{ (минимальное}$$

значение может быть отрицательным).

$$\bullet [48 \dots 47] = (47 \dots 37) + (37 \dots 17') - (17' \dots 77') + (77' \dots 68) - (68 \dots 77) + (77 \dots 48).$$

$$[48 \dots 47] = 33_{-0,62} + 8^{+0,3} - 63_{-0,74} + 5,5^{+0,3} - 3,5^{+0,3} + 22 \pm 0,6;$$

$$T_{\Delta\Delta} = 3 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)^2 \cdot (0,62^2 + 0,3^2 + 0,74^2 + 0,3^2 + 0,3^2 + 1,2^2)} = 1,321.$$

$$\Delta_{0\Delta\Delta} = (-0,31 + 0,15 + 0,15) - (-0,37 + 0,15) = 0,23.$$

Верхнее отклонение:

$$В. О. = \frac{T_{\Delta\Delta}}{2} + \Delta_{0\Delta\Delta} = \frac{1,321}{2} + 0,23 = 0,981,$$

нижнее отклонение:

$$Н. О. = \frac{T_{\Delta\Delta}}{2} - \Delta_{0\Delta\Delta} = \frac{1,321}{2} - 0,23 = 0,431.$$

Замыкающее звено: $1_{+0,431}^{+0,981}$.

$$\bullet [77 \dots 77'] = (77' \dots 68) - (68 \dots 77).$$

$$[77 \dots 77'] = 5,5^{+0,3} - 3,5^{+0,3} = 2 \pm 0,3;$$

$$\bullet [47 \dots 47'] = (47' \dots 37) - (37 \dots 47).$$

$$[47 \dots 47'] = 34_{-0,62} - 33_{-0,62} = 1 \pm 0,62;$$

$$\bullet [77' \dots 70] = (70 \dots 17') - (17' \dots 77').$$

$$[77' \dots 70] = 64_{-0,74} - 63_{-0,74} = 1 \pm 0,74$$

$$\bullet [10 \dots 17'] = -(17' \dots 70) + (70 \dots 10).$$

$$[10 \dots 17'] = -64_{-0,74} + 73 \pm 3 = 9_{-3}^{+3,74}.$$

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

Расчет замыкающего звеньев выявил брак, что означает, что технологический процесс спроектирован с ошибками, расчет припусков так же выявил недостатки, которые могут привести к неснятию слоя металла, а также существует припуск, необоснованно большой величины.

2.1.4 Вывод по разделу

Анализ действующего технологического процесса выявил некоторые недостатки: отсутствие какой-либо автоматизации процесса, появление брака при расчете размерной цепи, из-за обработки на универсальном оборудовании технологический процесс содержит большое количество операций по созданию технологических баз (съему черноты) и слесарных для удаления заусенец и притупления острых кромок. Применение специального инструмента обосновано.

2.2 Разработка проектного варианта технологического процесса изготовления детали «Шестерня двойная»

Действующий технологический процесс проектирован на базе универсального оборудования, однако развитие науки, техники, а следовательно и производств, диктует свои правила. На производствах активно внедряется современное оборудование с ЧПУ, которое позволяет сокращать количество оборудования и повышать точность при сокращении времени на обработку, применяются средства автоматизации, способствующие увеличению производительности и облегчению труда рабочего. Поэтому проектный вариант должен быть разработан в соответствии с современными требованиями.

2.2.1 Аналитический обзор, выбор и обоснование способа получения исходной заготовки

Заготовками для зубчатых колес могут быть: прокат (ГОСТ 2590-88) в форме круга, поковка, полученная методом штамповки на молотах (например, из прутка меньшего диаметра получается требуемый круг –

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		35

метод, применяемый в действующем технологическом процессе), штамповка в штампе на молотах.

Если для проектного варианты выбрать прокат, то его диаметр в соответствии с ГОСТ будет $\varnothing 175$ (масса 14 кг) и появится необходимость введения операции нарезки, КИМ для такого способа:

$$\text{КИМ} = \frac{4,6}{14} = 0,33,$$

т.е. почти две трети материала уходят в стружку.

Применение поковки из прутка меньшего диаметра требует введения не только операции нарезки, но и операции пластического деформирования, а КИМ значительно не изменится.

Если принять в качестве заготовки штамповку (масса 8,2 кг), то КИМ:

$$\text{КИМ} = \frac{4,6}{8,2} = 0,56,$$

что лучше, чем у способов выше, поэтому в качестве заготовки принимается штамповка. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах точнее, чем при штамповке на молотах, поэтому выбирается именно этот способ.

2.2.2 Аналитический обзор и выбор основного технологического оборудования

Для проектируемого технологического процесса подбирается новое технологическое оборудование.

В современных условиях производители и поставщики обеспечили широкий выбор оборудования для различных видов обработки. Т.к. в ходе проектирования нет никаких ограничений по выбору того или иного оборудования, то для токарной и зубофрезерной обработки выбирается многофункциональный обрабатывающий центр OKUMA MULTUS U3000 (рисунок 16), который имеет высокую мощность двигателя для вращающегося (фрезерного) инструмента, оснащен еще одной револьверной головой. Его характеристики приведены в таблице 1[3].

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

Таблица 1 – Характеристики OKUMA MULTUS U3000

MULTUS U3000 (2SW 1500)		
Функциональные возможности	Максимальный диаметр над суппортом, мм	650
	Максимальный диаметр обработки, мм	650
	Максимальная длина обработки, мм	1600
	Расстояние между центрами, мм	1500
Главный шпиндель	Стандартный шпиндель	Ø80/Ø120
	Мотор, кВт	VAC 22/15 (30мин/непрер.)
	Торец	A2-6
	Скорость шпинделя, мин-1	50 до 5000
Противошпиндель	Стандартный шпиндель	Ø62/Ø100
	Мотор, кВт	VAC 22/15 (20мин/непрер.)
	Торец	A2-6
	Скорость шпинделя, мин-1	50 до 5000
Верхняя револьверная головка	Головка H1	HSK-A63 (CAPTO 6)
		12,000мин-1, VAC 22/15/11кВт (3мин/15мин/непрер.)
		СОЖ через шпиндель
		многофункциональная головка V12 (радиальная)
Нижняя револьверная головка		6,000мин-1, RREX5.5/3.7кВт (2мин/непрер.)
	токарный	25
Размер инструмента	вращающийся	Ø40
	макс.диаметр инструмента	130
	количество инструмента	40 [80]
	X/Y/Z, мм	645/250/1600
Перемещение по осям	W, мм	1000
	C, градусы	360
	B, градусы	240 (-30...210)
	Высота, мм	3052
Габариты	Д×Ш×В	5425×3052×3030
	Вес, кг	17000

Для зубодолбления принято решение оставить универсальный станок 5M150, т.к. он справляется с поставленной ему задачей, а при необходимости его можно усовершенствовать асинхронным двигателем бесступенчатого регулирования, устройством для измерения линейных перемещений и контроллером «FATEК». Общий вид станка приведен на рисунке 17, а технические характеристики сведены в таблицу 2 [4].

Для шлифования правого торца и отверстия выбран внутришлифовальный станок с ЧПУ (система Fanuc 18-iTA) ОКАМОТО модели IGM-15NC. Станок имеет возможность установки второго шлифовального шпинделя, что обеспечивает непрерывную обработку отверстия и торца. Общий вид станка приведен на рисунке 18, технические характеристики сведены в таблицу 3 [5].



Рисунок 16 – OKUMA MULTUS U3000



Рисунок 17 – Зубодолбежный станок 5M150

Таблица 2 – Характеристики станка 5M150

Наименование параметра	5M150
Основные параметры станка	
Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	12
Наибольший диаметр нарезаемых цилиндрических прямозубых колес	800
Наибольшая ширина нарезаемого венца (длина нарезки), мм	160
Диаметр делительного колеса суппорта, мм	
Максимальное расстояние от оси долбяка (шпинделя) до оси стола, мм	0..700
Расстояние от зеркала стола (планшайбы) до торца шпинделя, мм	155..355
Расстояние от пола до планшайбы, мм	
Шпиндель долбяка	
Наибольший ход долбяка (шпинделя), мм	200
Наибольший диаметр устанавливаемого долбяка, мм	200
Пределы чисел двойных ходов долбяка в минуту	10...212
Скорость быстрого вращения долбяка, об/мин	3
Конец шпинделя для крепления инструмента	Морзе 5

Рабочий стол (план-шайба)	
Диаметр рабочего стола (планшайбы), мм	800
Диаметр отверстия в столе, мм	120
Диаметр делительного колеса, мм	
Пределы круговых подач стола на один двойной ход долбяка (при диаметре долбяка 100 мм), мм	0,2..1,5
Пределы радиальных подач стола на один двойной ход долбяка, мм	2,07..5,4
Скорость быстрого вращения стола, об/мин	1,7
Скорость быстрого перемещения стола, мм/мин	137
Привод и электрооборудование станка	
Количество электродвигателей на станке	
Электродвигатель главного привода - поступательное движение долбяка (M1), кВт	7,5
Электродвигатель быстрого вращения долбяка (M2), кВт	0,8
Электродвигатель вращения стола (план-шайбы), кВт	1,1
Электродвигатель радиальной подачи стола, кВт	2,2
Электродвигатель насоса смазки, кВт	0,25
Электродвигатель насоса гидропривода, кВт	
Электродвигатель насоса охлаждения, кВт	0,12
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	
Габаритные размеры и масса станка	
Размеры станка (Д×Ш×В), мм	4200×1800×3300
Масса станка с электрооборудованием и охлаждением, кг	10800

Для шлифования левого торца применяется плоскошлифовальный станок ОКАМОТО 65 DX. Станок оснащен контроллером, цифровой индикацией, возможна работа в ручном и автоматических режимах [5]. Вид станка показан на рисунке 19, характеристики приведены в таблице 4.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40



Рисунок 18 – Внутришлифовальный станок ОКАМОТО IGM-15NC

Таблица 3 – Характеристики ОКАМОТО IGM-15NC

Обрабатываемый внутренний диаметр, мм	6...150
Максимальная глубина шлифования, мм	125
Максимальный диаметр заготовки с использованием защитного кожуха, мм	260
Максимальный диаметр заготовки без использования защитного кожуха, мм	600
Поперечный ход шлифовального шпинделя (ось X)	
Максимальный ход, мм	170
Диапазон рабочих подач, мм/мин	0,001...10000
Ускоренная подача, мм/мин	10000
Продольный ход стола (ось Z)	
Максимальный ход, мм	500
Диапазон рабочих подач, мм/мин	0,001...10000
Ускоренная подача, мм/мин	10000
Минимальный программируемый шаг	
Ось X, мм	0,0001
Ось Z, мм	0,0001
Скорость вращения шпинделя изделия, мин ⁻¹	100...850
Угол поворота бабки изделия, град.	-5...15
Скорость вращения шлифовального шпинделя,	
Стандартное оснащение, мин ⁻¹	20000
Дополнительное оснащение, мин ⁻¹	10000...50000
Электродвигатели	
Шпиндель изделия, кВт	1,5/4 (с инвертором)
Шлифовальный шпиндель, кВт	2,2/2
Привод оси X, кВт	750
Привод оси Z, кВт	900
Расстояние от низа станины до оси патрона, мм	1000
Система ЧПУ	
Тип	FANUC 18i-TA

Количество управляемых осей	поперечный ход — ось X продольный ход — ось Z
Габариты Д×Ш×В, мм	2540×1982×1700



Рисунок 19 – Плоскошлифовальный станок OKAMOTO 65 DX

Таблица 4 – Характеристики плоскошлифовального станка OKAMOTO 65 DX

Вместимость	
Максимальный поперечный ход, мм	540
Размеры магнитной плиты, мм	600×500×95
Скорость продольной подачи, м/мин	3...25
Рабочий стол	
Ускоренная подача, м/мин	4
T-образные пазы (ширина×количество), мм	17×3
Автоматическая вертикальная подача (переход и врезание)	0...1000
Поперечная подача	
Диапазон подачи, мм	0,5...20
Скорость рабочей подачи, м/мин	0...1,0
Цена деления шкалы при ручной подаче, мм	0,0001/0,001/0,01
Вертикальная подача	
Цена деления шкалы при ручной подаче, мм	0,0001/0,001/0,01

Количество проходов без съема материала, после которых происходит автоматическая остановка шлифования	0...5
Ускоренная вертикальная подача, мм/мин	1000
Шлифовальный круг	
Диаметр×ширина×внутренний диаметр, мм	Ø355×38×Ø127
Скорость вращения (50Гц), 1/мин	1500
Двигатели	
Шпиндель шлифовального круга, кВт / пиковая	3,7/4 (7,5 – опция)
Масляный насос, кВт / пиковая	2,2/4
Электроснабжение	
Потребляемая мощность, кВт	10,5
Габариты	
Д×Ш×В, мм	2800×2800×2800
Масса, кг	3800

2.2.3 Формирование операционно-маршрутной технологии проектного варианта

000 операция – заготовительная.

001 операция – транспортирование.

Операция 005 – комплексная на обрабатывающих центрах с ЧПУ.

Операционный эскиз изображен на рисунке 20. Обработка происходит в два станова. Станов А. Заготовка устанавливается в трехкулачковый патрон, производится обработка детали: подрезка торца на размер 10, точение цилиндрической поверхности на диаметр 4, подрезка торца на размер 9 с образованием фаски 1, точение канавки шириной 11 до диаметра 6 с образованием радиусов 2, точение фаски 8 до диаметра 5, точение фаски 3, сверление, рассверливание и растачивание диаметра 7, точение фаски 12 с образованием угла 13. Станов Б. Заготовка базируется по внутренней поверхности при помощи цанги. Обработка содержит: точение по контуру, получая размеры 1, 2, 3, 4, 6 точение фаски 5, а так же нарезание зубьев большего венца червячной фрезой. Эскиз приведен на рисунке 21

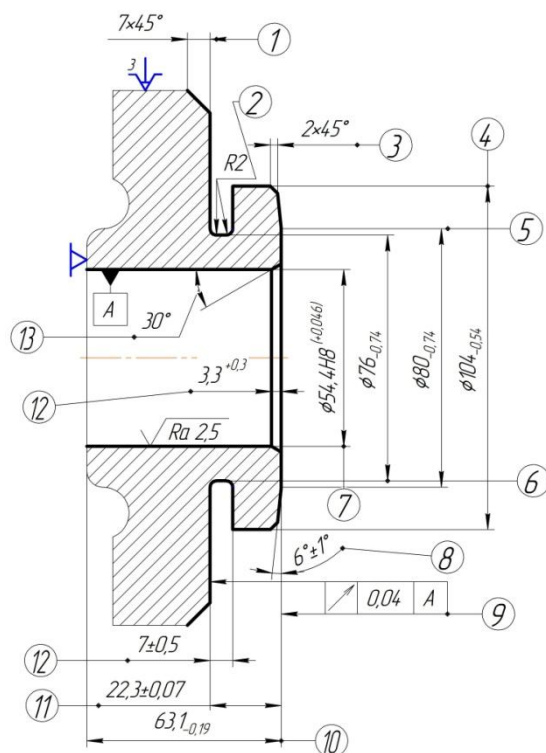


Рисунок 20 – Операция 005 (установ А)

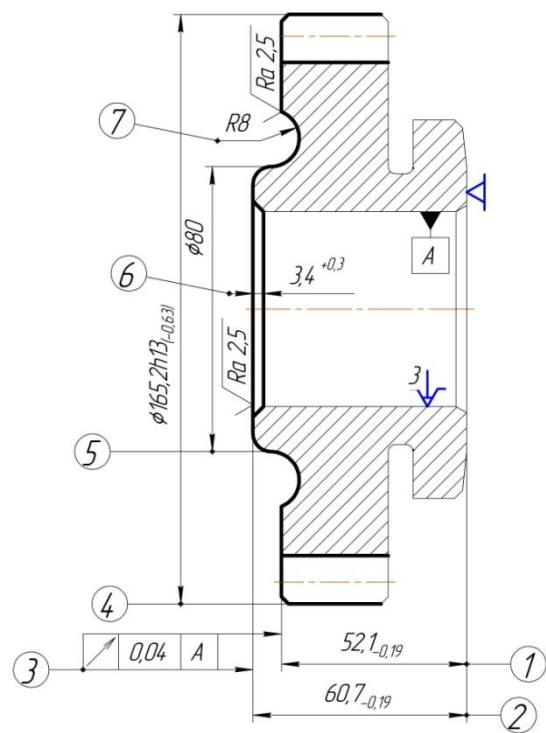


Рисунок 21 – Операция 005 (установ Б)

После операции осуществляется контроль наладчиком.

009 операция – транспортирование.

Операция 010 зубодолбежная. Заготовка устанавливается на специальное приспособление, зубья нарезаются долбяком. Операционный эскиз приведен на рисунке 22. Операция включает контрольный переход.

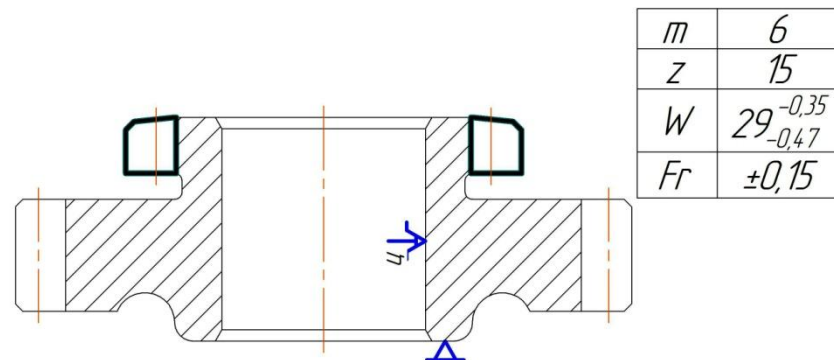


Рисунок 22 – Операционный эскиз 010 операции

Операция 015 контрольная. Проверка острых кромок, дефектов, параметров $W = 46,55_{-0,53}^{-0,37}$ и $W = 29,25_{-0,47}^{-0,35}$, а также предельные отклонения шагов.

019 операция – транспортирование.

Операция 020 маркирование. На торце указывается: 12ХН3А, $m = 6$, $z_1 = 25$, $z_2 = 15$.

024 операция – транспортирование.

Операция 025 термическая обработка (цементация, закалка).

029 операция – транспортирование.

Операция 030 шлифовальная с ЧПУ. Шлифуется отверстие диаметром 1, а так же торец на размер 2. Операционный эскиз на рисунке 23.

Операция 035 шлифовальная с ЧПУ. Шлифуется торец на размер 1. Операционный эскиз приведен на рисунке 24.

039 операция – транспортирование.

Операция 040 промывка.

044 операция – транспортирование.

Операция 045 контрольная

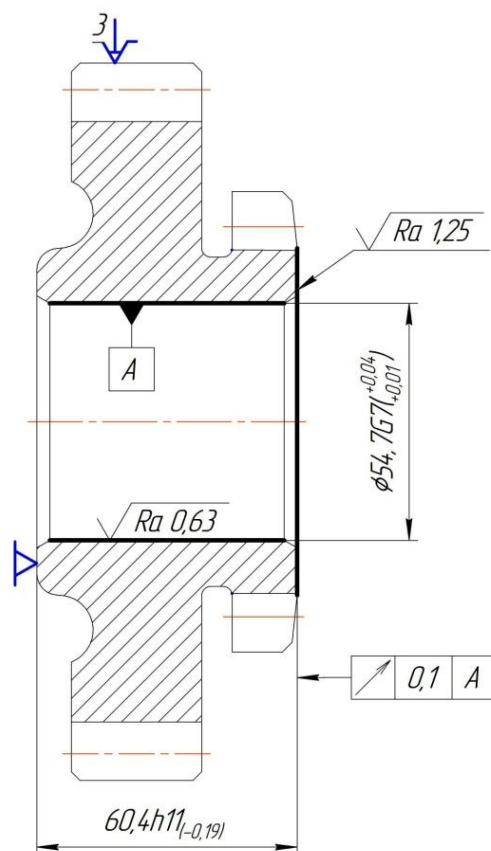


Рисунок 23 – Операционный эскиз 030 операции

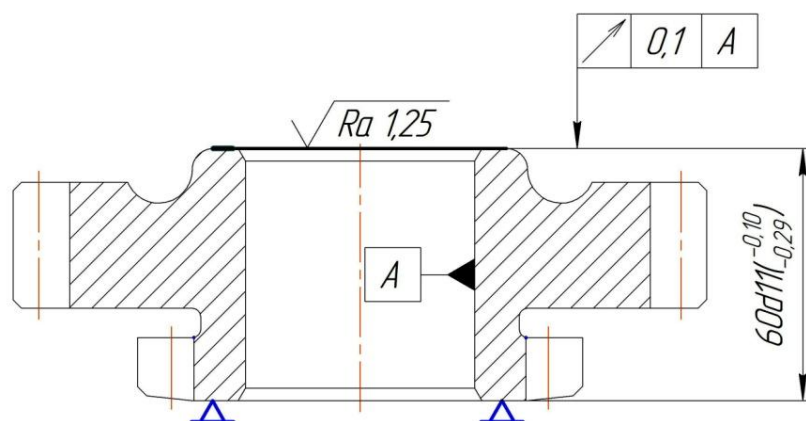


Рисунок 24 – Операционный эскиз 035 операции

2.2.4 Размерно-точностной анализ проектного варианта технологического процесса

Схема размерного анализа приведена на рисунке 25. Целью размерного анализа является определение операционных размеров, проверка выполняемости замыкающих звеньев, (если таковые имеются), расчет припусков.

Размерный анализ выявил два замыкающих звена.

- Уравнение первого замыкающего звена:

$$[38...58] = (58...17) - (17...57) + (57...38),$$

$$[38...58] = E_{-0,19} - D_{-0,19} + \Gamma \pm 0,07.$$

Сумма допусков составляющих звеньев равна 0,52, допуск замыкающего звена 1,2, т.е. $W < T$ – годно.

- Уравнение второго замыкающего звена:

$$[28...38] = - (38...57) + (57...28);$$

$$[28...38] = - \Gamma \pm 0,07 + И_{-0,19};$$

$W = 0,33 < T = 0,52$ – размер выполняется.

- Определение размера E через припуск:

$$[17...18] = - (18...58) + (17...58),$$

$$[17...18] = - 60_{-0,29}^{-0,1} + E_{-0,19}.$$

Номинал припуска определяется по формуле:

$$z = z_{\min} + \frac{W_{Ai}}{2} - \Delta_{0Ai}. \quad (5)$$

Минимально требуемый припуск:

$$z_{\min} = R_z + D_f, \quad (6)$$

где R_z – шероховатость, соответствующая значению предыдущей операции, D_f – дефектный слой. Т.к. предшествующей операцией было полустиковое точение, то по таблицам нормативов $R_z = 20$ мкм, $D_f = 30$ мкм.

W_{Ai} – поле рассеяния, равное сумме допусков составляющих звеньев, т.е:

$$W_{Ai} = 0,19 + 0,19 = 0,38.$$

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

Δ_{0Ai} – координата середин полей допусков составляющих звеньев:

$$\Delta_{0Ai} = \left(\frac{0 + (-0,19)}{2} \right) - \left(\frac{-0,1 + (-0,29)}{2} \right) = -0,1.$$

$$[17...18] = (0,02 + 0,03) + \frac{0,38}{2} - (-0,1) = 0,34 \rightarrow 0,4 \text{ мм.}$$

Номинал размера E:

$$0,4 = -60 + E \Rightarrow E = 60,4 \text{ мм. Т.о., } E = 60,4_{-0,19}.$$

По аналогии определяются остальные составляющие звенья.

- Размер Д через припуск [58...57]:

$$[58...57] = (57...17) - (17...58) = D_{-0,19} - 60,4_{-0,19}.$$

$z_{\min} = 0,05$, $W_{Ai} = 0,38$, $\Delta_{0Ai} = 0$, тогда припуск:

$$[58...57] = 0,05 + \frac{0,38}{2} - 0 = 0,24 \rightarrow 0,3 \text{ мм.}$$

$$0,3 = D - 60,4 \Rightarrow D = 60,7 \text{ мм. } D = 60,7_{-0,19}.$$

- Размер Ж через припуск [16...17]:

$$[16...17] = - (17...57) - (57...16) = Ж_{-0,19} - 60,7_{-0,19}.$$

Минимально требуемый для снятия черноты $z_{\min} = 250 + 400 = 650$ мкм = 0,65 мм. $W_{Ai} = 0,38$, $\Delta_{0Ai} = 0$, тогда припуск:

$$[16...17] = 0,65 + \frac{0,38}{2} - 0 = 0,84 \rightarrow 0,9. \text{ Это наилучшее условие, но по}$$

нормативам для заготовки-штамповки рекомендуется припуск 2,4 мм. Тогда размер Ж определится:

$$2,4 = Ж - 60,7 \Rightarrow Ж = 63,1. Ж = 63,1_{-0,19}.$$

- Размер Г определяется из уравнения замыкающего звена:

$$[38...58] = (58...17) - (17...57) + (57...38)$$

$$[38...58] = 60,4_{-0,19} - 60,7_{-0,19} + \Gamma \pm 0,07.$$

Величина замыкающего звена, к которой необходимо стремиться, определяется через среднее по формуле:

$$A_i = A_{i\text{ср}} - \Delta_{0\Delta\Delta}, \quad (7)$$

$$[38...58] = \left(\frac{22,6 + 21,4}{2} \right) - \left(\frac{0 + (-0,19)}{2} - \frac{0 + (-0,19)}{2} \right) = 22.$$

$$22 = 60,4 - 60,7 + \Gamma, \text{ откуда } \Gamma = 22,3 \pm 0,07.$$

Проверка по выполняемости замыкающего звена:

$$[38...58] = (58...17) - (17...57) + (57...38) = 60,4_{-0,19} - 60,7_{-0,19} + 22,3 \pm 0,07 = 22 \pm 0,26 \text{ (выполняется с обеспечением запаса по точности).}$$

- Величина размера И определяется аналогично:

$$[28...38] = - (38...57) + (57...28);$$

$$[28...38] = - 22,3 \pm 0,07 + I_{0,19}.$$

Величина замыкающего звена, определяемая через среднее:

$$[28...38] = \left(\frac{30 + 29,48}{2} \right) - \left(\frac{0 + (-0,19)}{2} \right) = 29,835.$$

$$29,835 = - 22,3 + I, \text{ откуда } I = 52,135 \rightarrow 52,1_{-0,19}.$$

Проверка по выполняемости замыкающего звена:

$$[28...38] = - 22,3 \pm 0,07 + 52,1_{-0,19},$$

$$[28...38] = 29,8_{-0,26}^{+0,07} \text{ (выполняется с обеспечением запаса по точности).}$$

Размеры заготовки так же определяются через припуски.

Размер А через припуск [57...56]:

$$[57...56] = (56...16) - (16...57) = A \pm 0,4 - 63,1_{-0,19}.$$

$z_{\min} = 0,65$ мм (от заготовки), $W_{Ai} = 0,99$, $\Delta_{0Ai} = 0,095$, тогда припуск:

$$[16...17] = 0,65 + \frac{0,99}{2} - 0,095 = 1,05.$$

По тем же таблицам нормативов назначен припуск 2,4. Тогда:

$$2,4 = A - 63,1 \Rightarrow A = 65,5 \rightarrow 66 \text{ мм. } A = 66 \pm 0,4.$$

Размер В через припуск [27...28]:

$$[27...28] = - (28...57) + (57...16) - (16...27),$$

$$[27...28] = - 52,1_{-0,19} + 63,1_{-0,19} - B \pm 0,2.$$

По нормативам припуск назначается 2,3, тогда:

									Лист
									49
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

$$2,3 = -52,1 + 63,1 - B \Rightarrow B = 8,7 \rightarrow 9 \text{ мм. } A = 9 \pm 0,2.$$

Из-за округления пересчитывается припуск $27 \dots 28 = 9 - 63,1 + 52,1 = 2$ мм.

Размер Б через припуск [37...38]:

$$[37 \dots 38] = (38 \dots 57) - (57 \dots 16) + (16 \dots 37),$$

$$[37 \dots 38] = 22,3 \pm 0,07 - 63,1_{-0,19} + B \pm 0,3.$$

Приняв припуск 2,3 мм:

$$2,3 = 22,3 - 63,1 + B \Rightarrow B = 43,1 \text{ мм. } B = 43 \pm 0,3$$

Размерный анализ выявил необходимые минимальные припуски, а также, что замыкающие звенья выполняются. По полученным в результате расчета размерам выполнен чертеж заготовки, ее эскиз представлен на рисунке 26.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

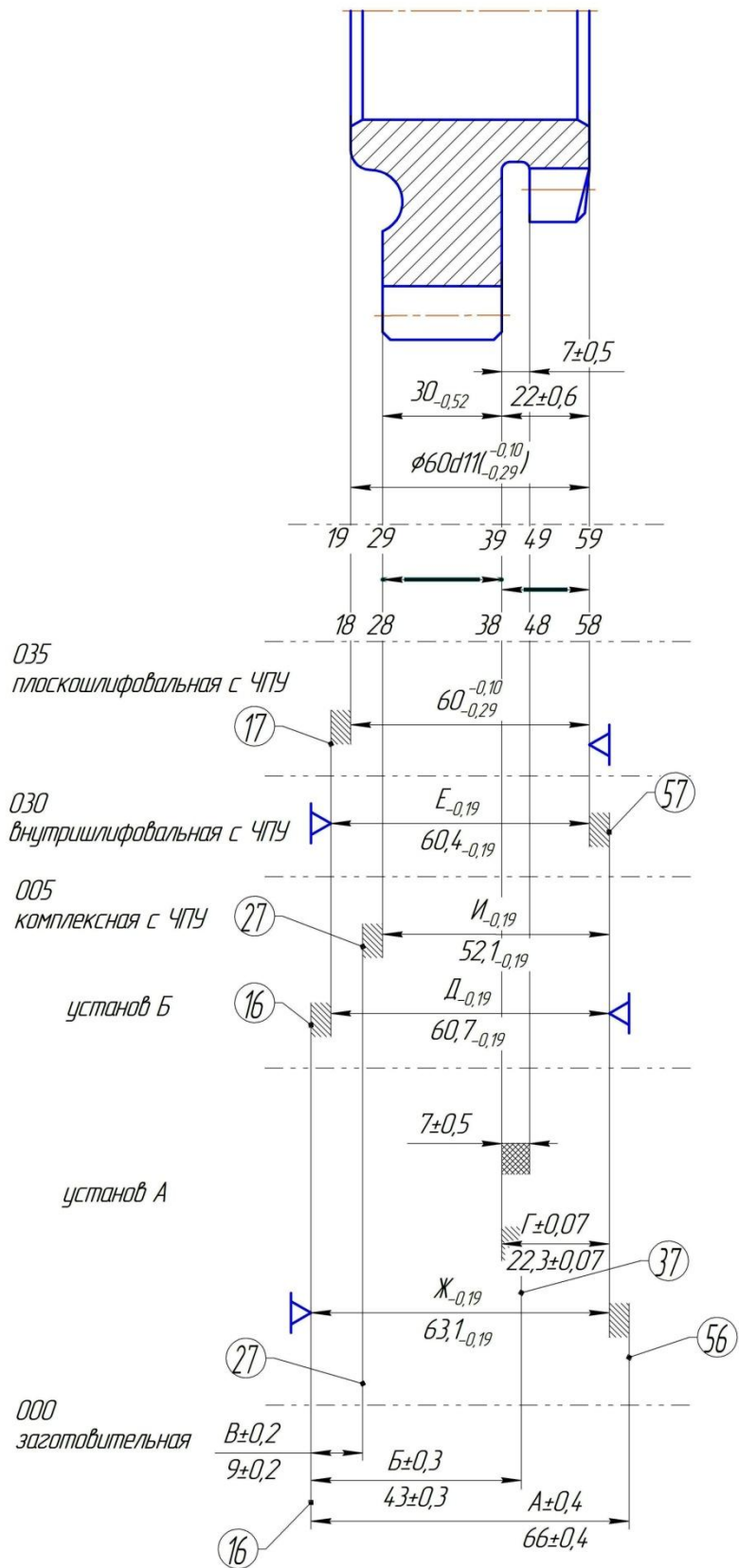


Рисунок 25 – Размерный анализ проектного ТП

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

15.03.05.2017.413 ПЗ

Лист

51

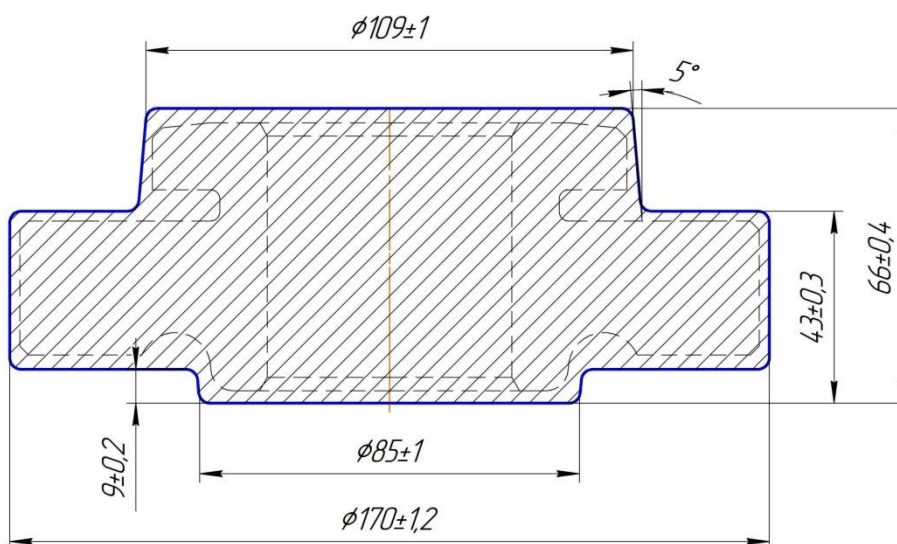


Рисунок 26 – Эскиз заготовки

2.2.5 Расчет режимов резания и норм времени на все операции проектного варианта технологического процесса

Расчет для операций точения проводится по нормам общемашиностроительных нормативов.

Операции 005 установ А. Т.к. заготовка выполняется по 14 качеству, а на операции выполняется 11, то необходимо две стадии обработки – получистовая и чистовая [17, карта 1, с.36]. Глубина резания при получистовой обработке определяется по карте 2.

Подрезка торца (рисунок 20 размер 10). Припуск 2,9 мм разделяется на 2 мм – глубина резания для получистового точения, 0,9 мм – чистовое точение.

Получистовая стадия.

Подача $S_{от} = 0,43$ мм/об, поправочные коэффициенты в зависимости [17, карта 5, с.40] от:

- инструментального материала $K_{си} = 1$;
- способа крепления пластины $K_{сп} = 1,1$;
- сечения державки $K_{сд} = 0,9$;
- прочности режущей части $K_{sh} = 0,9$;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

15.03.05.2017.413 ПЗ

Лист

52

- механических свойств обрабатываемого материала $K_{SM} = 1,25$;
- схемы установки заготовки $K_{sy} = 0,8$;
- состояния поверхности заготовки $K_{sp} = 0,85$;
- геометрических параметров резца $K_{sq} = 1$;
- жесткости станка $K_{sj} = 1,1$.

Тогда подача:

$$S = 0,43 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,36 \text{ мм/об.}$$

Составляющие силы резания [17, карта 32, с.98]:

$$P_{xt} = 630 \text{ Н и } P_{yt} = 230 \text{ Н.}$$

Поправочные коэффициенты в зависимости от:

- механических свойств обрабатываемого материала $K_{pm} = 0,75$;
- главного угла в плане $K_{p\phi x} = K_{p\phi y} = 1$;
- главного переднего угла $K_{p\gamma x} = K_{p\gamma y} = 0,9$;
- угла наклона режущей кромки $K_{p\lambda x} = K_{p\lambda y} = 1$.

Тогда силы резания:

$$P_x = 630 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 425,3 \text{ Н,}$$

$$P_y = 230 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 155,3 \text{ Н.}$$

Скорость и мощность резания [17, карта 21, с.80]:

$$V_t = 159 \text{ м/мин, } N_t = 5,8 \text{ кВт.}$$

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от [17, карта 23, с.83]:

- инструментального материала $K_{vi} = 1$;
- группы обрабатываемости материала $K_{vc} = 0,9$;
- вида обработки $K_{vo} = 1,1$;
- жесткости станка $K_{vj} = 1,1$;
- механических свойств обрабатываемого материала $K_{vm} = 1,7$;
- геометрических параметров резца $K_{v\phi} = 1$;
- периода стойкости режущей части $K_{vt} = 0,7$;
- наличия охлаждения $K_{vj} = 1$.

Скорость резания с учетом поправочных коэффициентов:

$$V = 159 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 1,1 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 206 \text{ м/мин.}$$

Поправочный коэффициент [17, карта 24, с. 85] на мощность резания в зависимости от механических свойств обрабатываемого материал $K_{NM} = 0,6$.

Тогда мощность резания определяется: $N = 3,4 \cdot 0,6 = 2 \text{ кВт}$.

Частота вращения шпинделя определяется по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (8)$$

где D – диаметр обработки, мм.

При подстановке:

$$n = \frac{1000 \cdot 206}{3,14 \cdot 109} = 601,7 \text{ мин}^{-1}.$$

Минутная подача определяется по формуле:

$$S_M = S_0 \cdot n, \quad (9)$$

$$S_M = 0,36 \cdot 601,7 = 216,6 \text{ мм/мин.}$$

Основное время:

$$T = \frac{L}{S_M}, \quad (10)$$

где L – путь резца с учетом недобега.

Время на получистовой стадии:

$$T = \frac{57}{216,6} = 0,263 \text{ мин.}$$

Чистовая стадия.

Подача $S_{от} = 0,22 \text{ мм/об}$ [17, карта 6, с.46].

Поправочные коэффициенты в зависимости от [17, карта 8, с.48]:

- механических свойств обрабатываемого материала $K_{SM} = 1,25$;
- схемы установки заготовки $K_{sy} = 0,8$;
- радиуса вершины резца $K_{sr} = 0,85$;
- качества обрабатываемой детали $K_{ск} = 1,15$;
- угла в плане $K_{сфк} = 0,8$.

Подача с учетом коэффициентов:

$$S_o = 0,22 \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,15 \cdot 0,8 = 0,17 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания $V_T = 300$ м/мин [17, карта 22, с.81] Поправочные коэффициенты в зависимости от [17, карта 23, с.82]:

- группы обрабатываемости материала $K_{vc} = 0,9$;
- вида обработки $K_{vo} = 1$;
- жесткости станка $K_{vj} = 1,1$;
- механических свойств обрабатываемого материала $K_{vm} = 1,7$;
- геометрических параметров резца $K_{v\phi} = 1$;
- периода стойкости режущей части $K_{vt} = 0,7$;
- наличия охлаждения $K_{vj} = 1$.

Скорость резания с учетом поправочных коэффициентов:

$$V = 300 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 353,4 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 353,4}{3,14 \cdot 109} = 1032,1 \text{ мин}^{-1}$$

Минутная подача определяется по формуле:

$$S_m = S_o \cdot n,$$

$$S_m = 0,17 \cdot 1032,1 = 175,5 \text{ мм/мин.}$$

Время на чистовой стадии:

$$T = \frac{57}{175,5} = 0,325 \text{ мин.}$$

Аналогичным образом по картам нормативов определяются режимы и время для обработки остальных поверхностей. Вспомогательное время на смену инструмента составляет 0,16 мин. Результаты расчетов для точения сведены в таблицу 5.

Расчет для зубофрезерования [20, с. 46].

Осевая подача $S_{от} = 3$ мм/об.

Поправочные коэффициенты в зависимости от:

- числа зубьев колеса $K_{sz} = 0,8$
- обрабатываемого материала $K_{sm} = 0,9$;
- угла наклона фрезы $K_{s\beta} = 0,75$;
- числа заходов фрезы $K_{sz} = 1$;

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

- направления подачи $K_{SF} = 1$.

Скорректированное значение подачи:

$$S_0 = 3 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 1,7 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания $V_T = 35 \text{ м/мин.}$

Поправочные коэффициенты в зависимости от:

- обрабатываемого материала $K_{VM} = 0,9$;
- числа заходов фрезы $K_{VZ} = 1$;
- числа проходов $K_V = 1$;
- класса точности фрезы $K_{V\Delta} = 0,8$;
- материала фрезы $K_{IV} = 1$.

Тогда скорость резания:

$$V = 35 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 25,2 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения фрезы находится из формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{a.o}}, \quad (11)$$

где $d_{a.o} = 118 \text{ мм}$ – наружный диаметр фрезы. Тогда:

$$n = \frac{1000 \cdot 25,2}{3,14 \cdot 118} = 68 \text{ мин}^{-1}.$$

Основное время определяется по формуле:

$$T = \frac{(l+l_1)z}{n \cdot S_0 \cdot k}, \quad (12)$$

где $l = 30 \text{ мм}$ – длина обработки в направлении подачи, $l_1 = 86 \text{ мм}$ – величина врезания и перебега инструмента, $z = 25$ – число нарезаемых зубьев, $k = 1$ – количество заходов фрезы. При подстановке получается:

$$T = \frac{(30+86) \cdot 25}{68 \cdot 1,7 \cdot 1} = 25,095 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время на операцию для установка А $T_{всп} = 0,96 \text{ мин}$ для установка Б $T_{всп} = 0,48$, а подготовительно-заключительное $T_{пз} = 5 \text{ мин}$ [19, карта 12, с.54]. Результат приведен в таблице 5.

Расчет для зубодолбления [21, с. 677].

По таблице 15 число переходов на черновую обработку $i = 1$, как и на чистовую, круговая подача по таблице 16 $S_{кр} = 0,3 \text{ мм/дв.ход}$ и скорость

										Лист
										56
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ					

резания (по таблице 17) $V = 17$ м/мин, которые корректируются в зависимости от материала детали $K_s = 0,9$, $K_v = 0,9$. Тогда круговая подача и скорость:

$$S_{кр} = 0,3 \cdot 0,9 = 0,27 \text{ мм/дв.ход (удовлетворяет параметрам станка),}$$

$$V = 17 \cdot 0,9 = 15,3 \text{ м/мин.}$$

Радиальная подача при врезании в зависимости от круговой подачи:

$$S_{рад} = (0,1 \dots 0,3) S_{кр} = 0,3 \cdot 0,27 = 0,081 \text{ мм/дв.ход.}$$

Число двойных ходов долбяка вычисляется по формуле:

$$n_d = \frac{1000 \cdot V}{2L}, \quad (13)$$

где $L = 20$ мм – длина хода долбяка, состоящая из ширины нарезаемого венца (15 мм) и величины перебега в обе стороны от венца (5 мм), тогда число двойных ходов:

$$n_d = \frac{1000 \cdot 15,3}{2 \cdot 20} = 383 \text{ дв.ход/мин,}$$

но эта величина превышает максимальное допустимое по станку значение $n_{ст} = 200$ дв.ход/мин, приняв его, необходимо пересчитать скорость $V = 8$ м/мин.

Частота вращения долбяка (наружный диаметр долбяка 111,8 мм):

$$n = \frac{1000 \cdot 8}{3,14 \cdot 111,8} = 22,8 \text{ мин}^{-1}.$$

Основное время:

$$T_o = \frac{\pi \cdot z \cdot m \cdot i}{n_d \cdot S_{кр}} + \frac{H}{n \cdot S_{рад}}, \quad (14)$$

где $z = 15$ – число зубьев нарезаемого колеса, $m = 6$ – модель, H – высота зуба колеса, $i = 2$ – число проходов. T_o :

$$T_o = \left(\frac{3,14 \cdot 15 \cdot 6 \cdot 2}{200 \cdot 0,27} + \frac{15}{22,8 \cdot 0,081} \right) = 18,589 \text{ мин.}$$

Расчет для абразивной обработки.

Операция 030 внутришлифовальная. Шлифование отверстия производится кругом 40×40×13, припуск на обработку на сторону 0,15 мм. По рекомендациям справочника шлифовщика определяется скорость вращения круга, частота вращения детали, продольная подача и поперечная подача соответственно [18, табл.17, с.284]:

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

$$V_k = 35 \text{ м/с};$$

$$n_d = 250 \text{ мин}^{-1};$$

$$S_{\text{пр}} = 3200 \text{ мм /мин};$$

$$S_{\text{поп}} = 0,004 \text{ мм/ход.}$$

Поправочные коэффициенты на величину поперечной подачи в зависимости от [18, табл.17, с.286]:

- качества $K_1 = 1,81$;
- диаметра круга $K_2 = 0,9$;
- способа измерения и контроля $K_3 = 1$;
- жесткости детали $K_4 = 1$.

$$\text{Тогда } S_{\text{поп}} = 0,007 \cdot 1,81 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,007 \text{ мм/ход.}$$

Основное время:

$$T = \frac{2L}{S_{\text{пр}}} \cdot \frac{t}{h} \cdot K, \quad (15)$$

где $L = 60,7$ мм – длина обработки, $t = 0,3$ мм – припуск, $t = S_t$ – глубина резания за один проход, $t = 0,15$ мм – припуск на сторону, $h = S_{\text{поп}}$ – глубина резания за один проход, $K = 1,25 \dots 1,7$ – поправочный коэффициент точности, в таком случае:

$$T = \frac{2 \cdot 60,7}{3200} \cdot \frac{0,15}{0,007} \cdot 1,7 = 0,813 \text{ мин.}$$

Режимы для шлифования торца определяются аналогично:

$$V_k = 35 \text{ м/с};$$

$$V_d = 30 \text{ м/мин};$$

$$n_d = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 80} = 119 \text{ мин}^{-1};$$

$$S_{\text{пр}} = 0,2 \text{ мм /мин.}$$

Время обработки:

$$T = \frac{t}{S_{\text{пр}}}, \quad (16)$$

$$T = \frac{0,3}{0,2} = 1,5 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время на установку и снятие [19, карта 44, с.100]

$$T_{\text{всп}} = 0,32.$$

									Лист
									58
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

Операция 035 плоскошлифовальная. Необходимо удалить припуск 0,4 мм, получив шероховатость Ra1,25. По рекомендациям справочника шлифовщика определяется величина поперечной подачи, скорость перемещения стола и подача на глубину шлифования соответственно [18, табл.25, с.304]:

$$S_{\text{поп}} = 32 \text{ мм/ход стола};$$

$$V_{\text{ст}} = 10 \text{ м/мин};$$

$$S_t = 0,02 \text{ мм/ход},$$

$$S_t = 0,025 \text{ мм/ход (с учетом поправочного коэффициента)}.$$

Основное время определяется по формуле:

$$T = \frac{L \cdot B_d \cdot t}{1000 \cdot V_{\text{ст}} \cdot S_{\text{поп}} \cdot S_t'} \quad (17)$$

где $L = 80 + 15 = 95$ мм – длина обработки с учетом перебега круга, $B_d = 80$ – ширина шлифования, $t = 0,4$ мм – припуск. Тогда:

$$T = \frac{95 \cdot 80 \cdot 0,4}{1000 \cdot 10 \cdot 32 \cdot 0,025} = 0,38 \text{ мин.}$$

Норма штучного времени определяется по формуле:

$$T_{\text{шт}} = (T_0 + T_{\text{всп}}) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{отл}}}{100}\right). \quad (18)$$

Время на организационное и техническое обслуживание рабочего места, а также на отдых и личные надобности принимается в процентах от операционного времени:

$$a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}} = 10\%.$$

Таким образом, штучное время равно:

$$T_{\text{шт}} = 1,1 \cdot (T_0 + T_{\text{всп}}), \quad (19)$$

Таблица 5 – Режимы резания

Переход	Глубина t, мм	Подача S, мм/об	Частота вращения шпинделя n, об/мин	Скорость резания V, м/мин	Основное время T _о , мин	Вспомогательное время T _в , мин
Операция 005 Комплексная с ЧПУ						
Установ А						
Подрезка торца	2	0,36	601,7	206,0	0,263	0,16
	0,9	0,17	1032,1	353,4	0,325	0,02
Точение Ø 105,6 _{0,35}	1,7	0,30	647,1	221,6	0,129	0,02

Лист

15.03.05.2017.413 ПЗ

59

Продолжение таблицы 5

Подрезка торца 21,5±0,1	1,4	0,29	414,9	221,6	0,291	0,02
Точение по контуру	0,8	0,17	661,8	353,4	0,800	0,02
Точение канавки (3 прохода)	2,3	0,08	1017,6	243	1,769	0,16
Сверление Ø24	12	0,50	480,7	36,2	0,271	0,16
Рассверливание Ø50	13	0,4	236	37,1	0,690	0,16
Растачивание Ø54,4 (2 прохода)	2,2	0,2	1668,2	258,1	0,390	0,16
Фаска 2x45 ⁰	2	0,36	533,8	174,4	0,021	0,16
Фаска 7x45 ⁰	7	0,36	533,8	174,4	0,047	0,02
Фаска 3,3x30 ⁰	3,3	0,36	526,5	174,4	0,045	0,16
Итого					5,041	1,22
Установ Б						
Точить торец	1,6	0,36	771,6	206	0,160	0,16
Точить торец	1,4	0,29	414,9	221,6	0,370	0,02
Точить поверхность Ø166,8 _{-0,8}	1,6	0,36	393,2	206	0,233	0,02
Обработка по контуру	0,8	0,17	681	353,4	1,382	0,02
Фрезерование зубьев	12,1	1,7	68	25,2	29,095	0,16
Итого					27,24	0,38
Всего на операцию					32,281	1,6
Операция 010 Зубодолбежная						
Образование зубьев	15	0,081 мм. \дв. ход	200 дв.х/мин	8 м/мин	18,589	0,06
Операция 030 Шлифовальная с ЧПУ						
Шлифование отверстия	0,15	3200 мм/мин	199 об/мин	50 м/мин	0,813	0,05
Шлифование торца	0,3	0,2 мм/мин	119 об/мин	30 м/мин	1,5	0,05

Итого					2,86	0,1
Операция 035 Шлифовальная с ЧПУ						
Шлифование	0,4	32 мм/ход	1996 об/мин	10 м/мин	0,38	0,03

Расчет штучного времени.

Операция 005. Время на установку и снятие 0,18 мин. Операционное время:

$$T_o = (5,041 + 1,22 + 0,18) + (27,240 + 0,38 + 0,18) = 34,241 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 1,1 \cdot 34,241 = 37,665 \text{ мин.}$$

Подготовительно-заключительное время $T_{пз} = 5$ мин

Операция 010. Время на установку и снятие 0,33 мин. Операционное время:

$$T_o = (18,589 + 0,06 + 0,33) = 18,979 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 1,1 \cdot 18,979 = 20,877 \text{ мин.}$$

Подготовительно-заключительное время $T_{пз} = 3$ мин.

Операция 030. Время на установку и снятие 0,32 мин. Операционное время:

$$T_o = (2,313 + 0,1 + 0,32) = 2,733 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 1,1 \cdot 2,733 = 3 \text{ мин.}$$

Подготовительно-заключительное время $T_{пз} = 3$ мин.

Операция 035. Время на установку и снятие 0,40 мин. Операционное время:

$$T_o = (0,38 + 0,03 + 0,40) = 0,81 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 1,1 \cdot 0,81 = 0,891 \text{ мин.}$$

Подготовительно-заключительное время $T_{пз} = 2$ мин.

Окончательно все полученные в результате расчета времена сведены в таблицу 6.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61

Таблица 6 – Результат расчета времени на обработку

Операция	T _{шт} , мин	T _{пз} , мин
005 Комплексная с ЧПУ	37,665	5
010 Зубодолбежная	20,877	3
030 Шлифовальная с ЧПУ	3	3
035 Шлифовальная с ЧПУ	0,891	2
Итого	62,433	13

В действующем технологическом процессе на обработку требуется 122,1 мин.

2.2.6 Выводы по разделу

Выбранный способ получения заготовки обеспечивает экономию металла за счет формы, приближенной к детали, составлен маршрутный технологический процесс, содержащий меньшее количество операций механической обработки, размерный анализ выявил два замыкающих звена, а их расчет не выявил брака, расчет норм времени выявил значительное сокращение штучного времени по сравнению с действующим технологическим процессом.

3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Аналитический обзор и выбор стандартизированной технологической оснастки

Для обработки на комплексной операции с ЧПУ (005) подбираются два трехкулачковых патрона. Для установка А требуется патрон с проходным отверстием более 55 мм, обеспечивающим закрепление по наружной цилиндрической поверхности заготовки. В каталоге подобран патрон (механизированный, с быстрой сменой кулачков) трехкулачковый AUTOBЛОК типа KNCS-N 260-78 A6 (размеры приведены на рисунке 27а) с калеными ступенчатыми целикowymi кулачками GST 260. Для установка Б требуется установить заготовку по внутреннему отверстию, для этого подобран трехкулачковый патрон AUTOBЛОК типа KNCS-N140-35 A5 (рис. 27б), размеры которого не препятствуют зубофрезерованию, с такими же кулачками типа GST 160-2 9 (диапазоны зажимов представлены на рисунке 28).

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		63

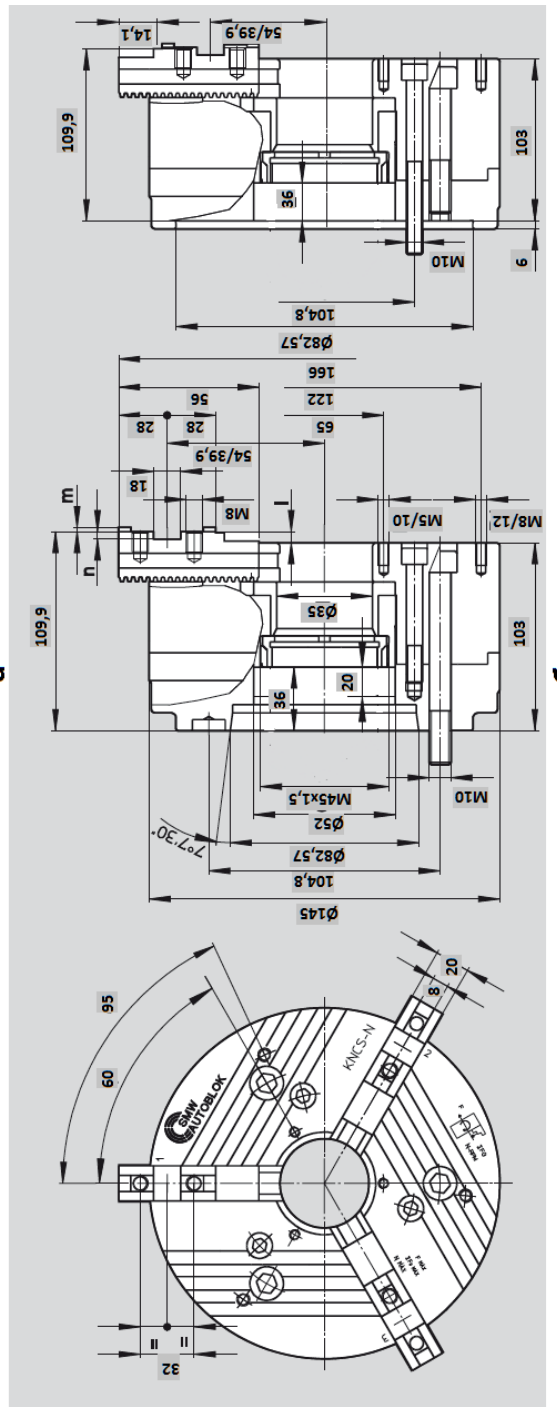
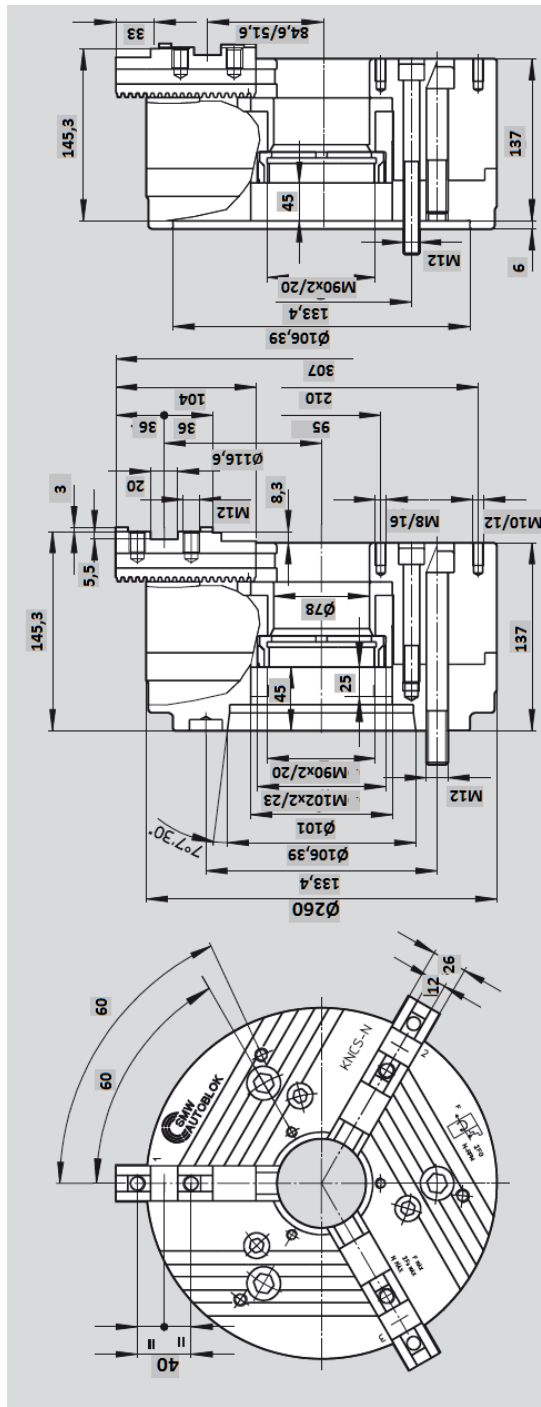
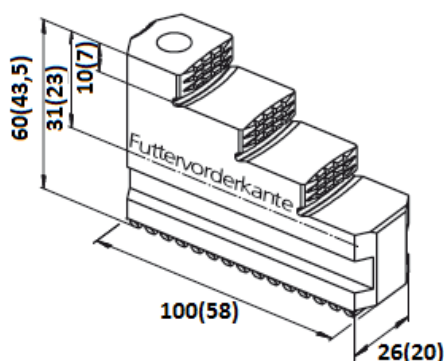


Рисунок 27 – Трехкулачковый патрон для 005 операции

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

15.03.05.2017.413 ПЗ



Диапазоны зажима

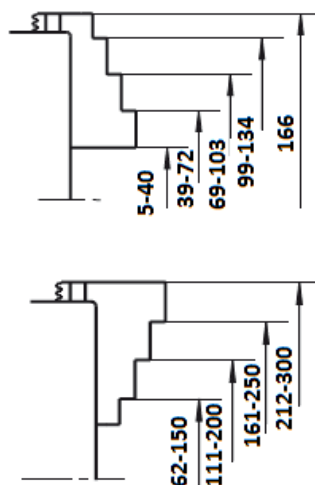


Рисунок 28 – Диапазоны зажима кулачков

Для зубодобления используется специальное станочное приспособление с разжимной цангой.

Инструментальная оснастка. Для сверла диаметром 24 из каталога фирмы PRAMET выбран патрон HSK 63A-W 25110 (рисунок 29). Для сверла диаметром 50 аналогично выбирается патрон ISO 9766 с конусом HSK 63A 40110, но уже от фирмы SANDVIK, эскиз на рисунке 30.

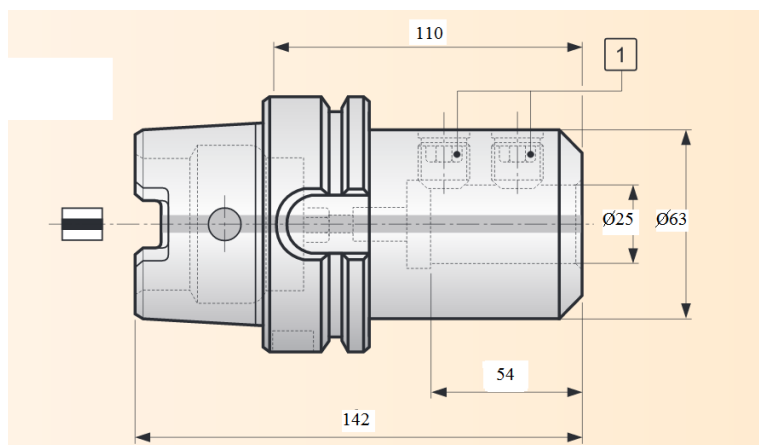


Рисунок 29 – Патрон HSK 63A-W 25110

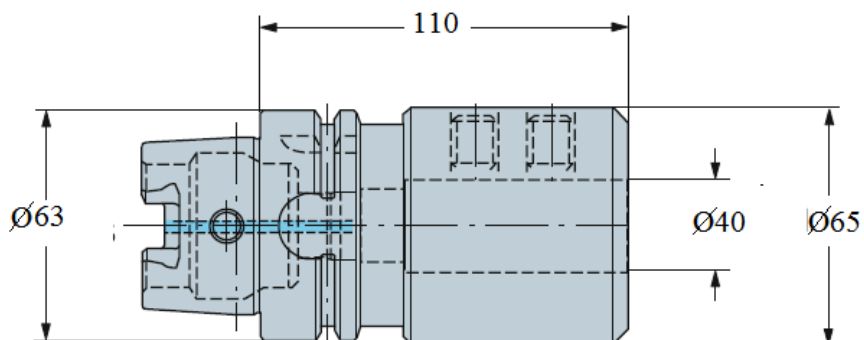


Рисунок 30 – Патрон SANDVIKHSK 63A 40110

Резцедержатель выбирается из каталога KINTEK H63TARD25L, представлен на рисунке 31.

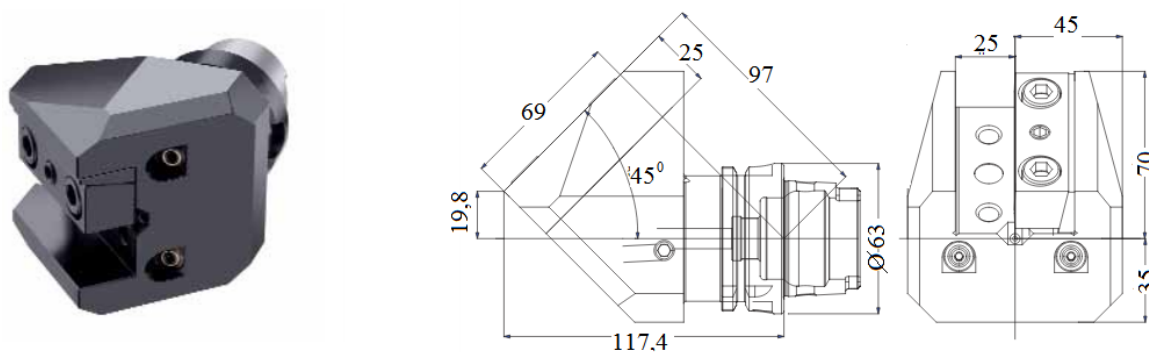


Рисунок 31 – Резцедержатель KINTEK H63TARD25L

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

15.03.05.2017.413 ПЗ

Лист

66

Для расточного резца так же из каталога KINTEK выбран держатель H63TAX-E2x40, изображенный на рисунке 32.

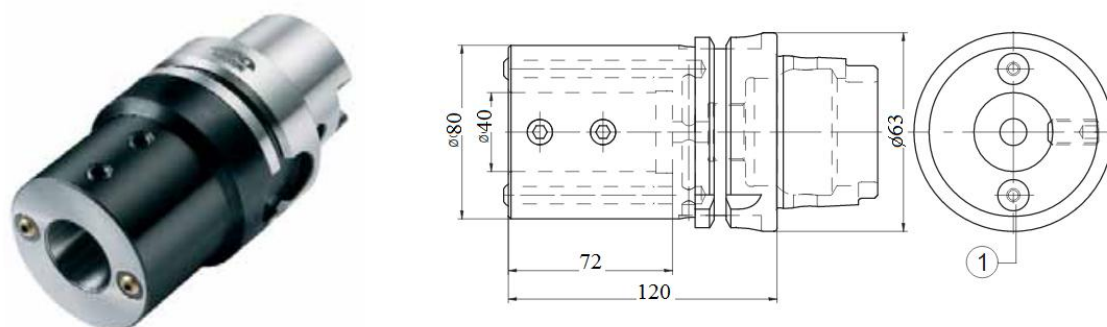


Рисунок 32 – Резцедержатель KINTEK H63TAX-E2x40

3.2 Проектирование и расчет специального станочного приспособления

Эскиз спроектированного приспособления с пневматическим зажимом приведен на рисунке 33. Оправка 3 вставляется в корпус 1, который базируется в отверстие стола станка. Цанга разрезная 5 насаживается на оправку 3. В оправку устанавливается тяга 4, на которую закручивается гайка 2, являющаяся стопором. При движении тяги вниз бурт на ее конце давит на выступ в цанге, что приводит к раскрытию лепестков и зажатию заготовки. Размеры оправки с разрезной цангой 7112-1493 соответствуют ГОСТ 31.1066.02-85

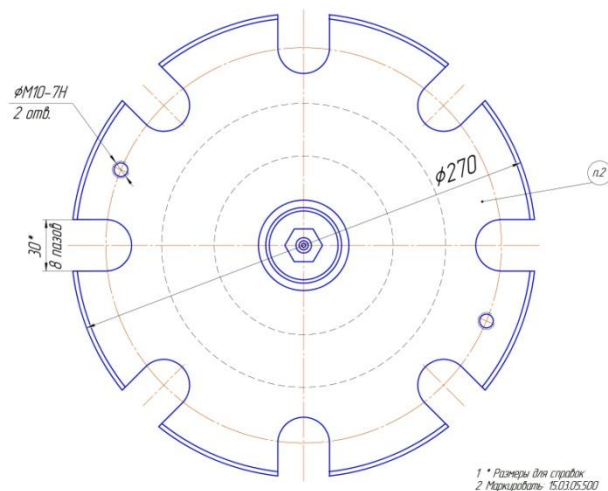
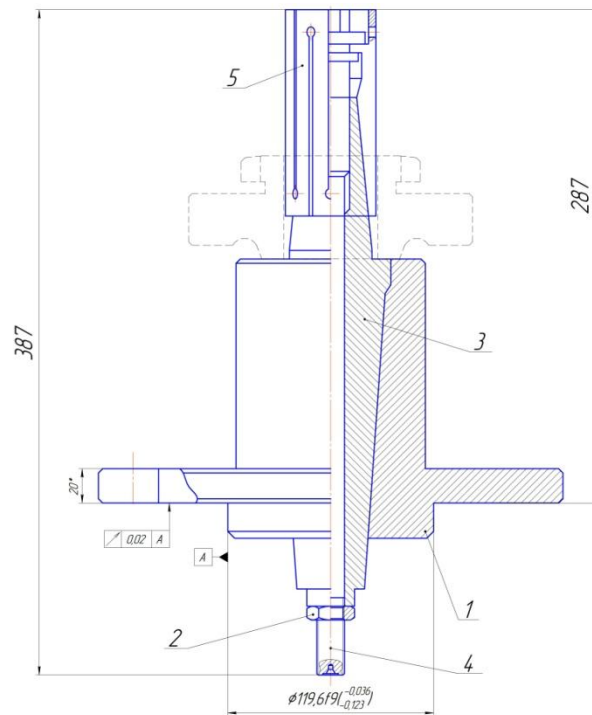


Рисунок 33 – Приспособление для зубодолбежного станка 5М150

Выбор пневмоцилиндра. По ГОСТ 15608-81 выбирается пневмоцилиндр с торможением (наружный диаметр резьбы М16х15, диаметр штока 18 мм, диаметр пневмоцилиндра 50 мм, толкающее усилие 640 Н, тянущее – 550 Н, ход поршня 80...500 мм).

									Лист
									68
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

3.3 Аналитический обзор и выбор стандартизированного режущего инструмента

При разработке технологического процесса необходимо подбирать (по возможности) стандартный режущий инструмент. В условиях развития производств целесообразно применять режущий инструмент, оснащенный сменными твердосплавными пластинами.

Для получения зубьев детали «Шестерня двойная», эскиз которой приведен на рисунке 34, проектируется червячная фреза (для обработки большего венца) и долбяк (для обработки меньшего венца), для остальной обработки подбирается стандартный режущий инструмент.

Для обработки поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10 используется SDJCR 2525 M 15 резец PRAMET (приведен на рисунке 35) с пластиной DCMТ 150408E-RM (рисунок 36). Материал пластины Т9325 (российский аналог Т15К6), угол $\gamma_0 = 0^\circ$.

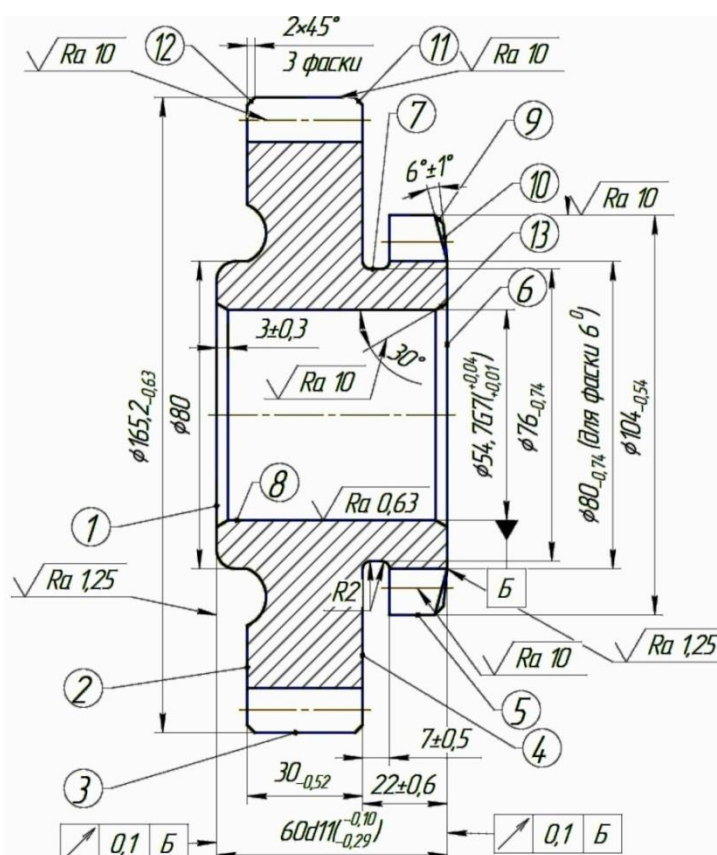


Рисунок 34 – Эскиз детали «шестерня двойная»

						Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ	

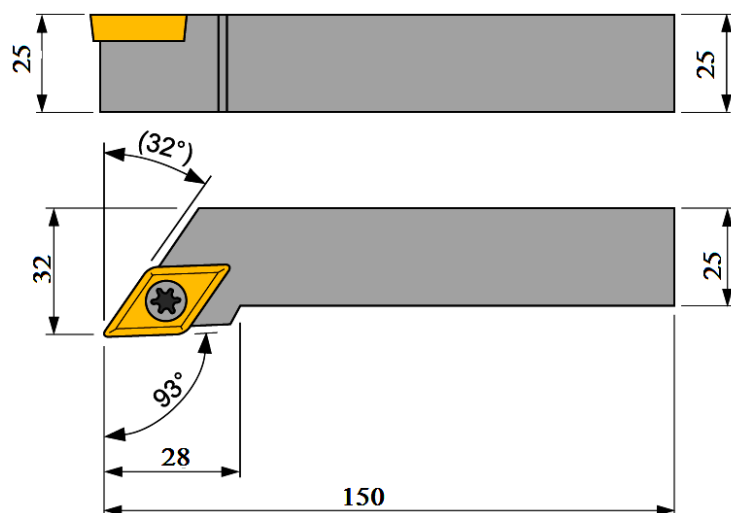


Рисунок 35 – SDJCR 2525 M 15 резец PRAMET

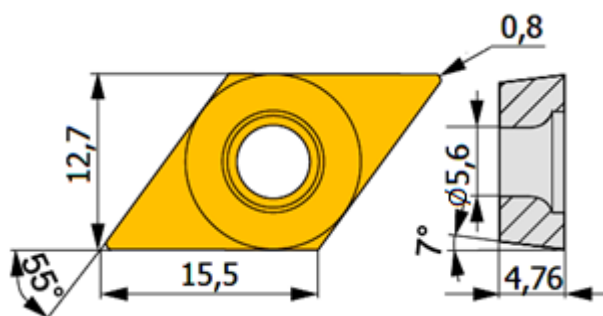


Рисунок 36 – DCMT 150408E-RM пластина

Для обработки фасок 9, 11, 12 (2x45⁰) применяется PSSNR 2525 M 12 резец PRAMET (рисунок 37) с пластиной SNMG 120408E-M (рисунок 38). Материал пластины T9325 (российский аналог T15K6). Передний угол $\gamma_0^0 = -8^0$.

Для получения канавки 7 применяется CFIRM 03 резец PRAMET (рисунок 39). Пластина LCMR0316 MO-MP (изображена на рисунке 40). Материал пластины – T8330.

							15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				70

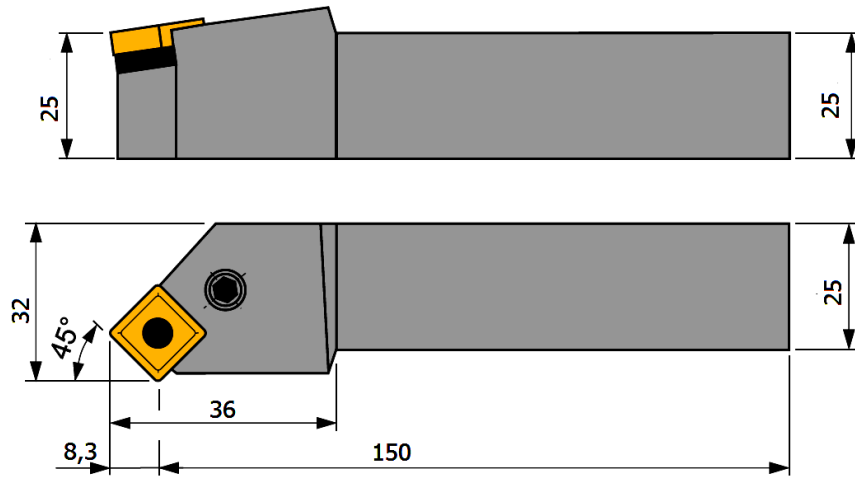


Рисунок 37 – PSSNR 2525 М 12 резец PRAMET

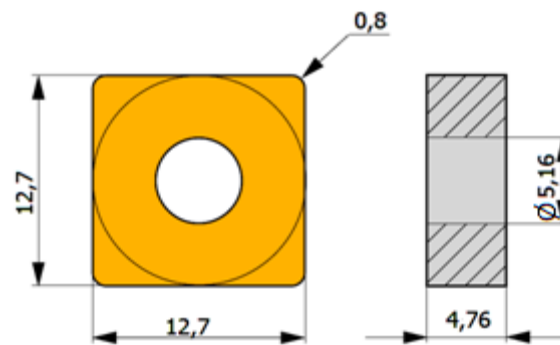


Рисунок 38 – SNMG 120408E-M пластина

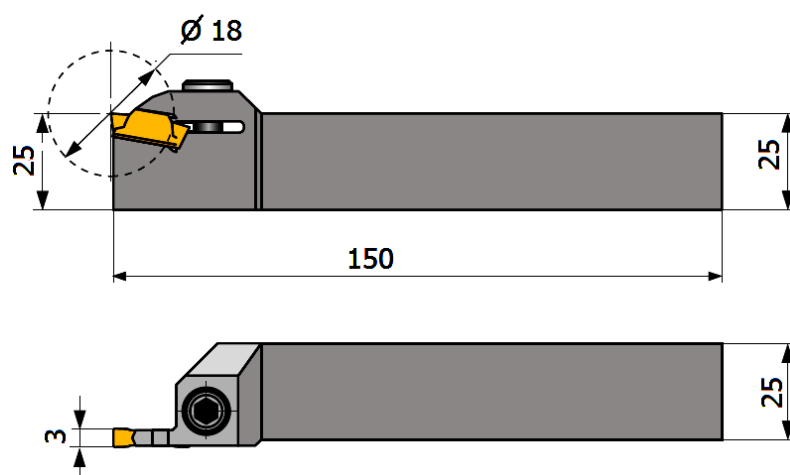


Рисунок 39 – CFIR М 03 резец PRAMET

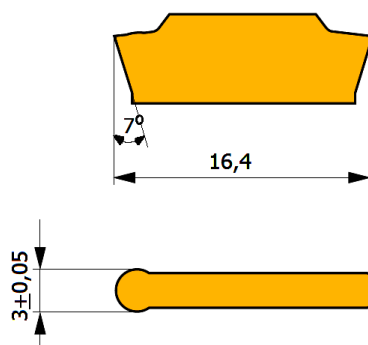


Рисунок 40 – LCMR 0316 MO-MP пластина

Для получения отверстия 8 используются следующие инструменты:

- 803D-24 сверло PRAMET (изображено на рисунке 41) с СМП на периферии – SCET 070308-UD, в центре – ХРЕТ 0703АР. Эскизы СМП приведены на рисунке 42. Сплав D8345 для центральной пластины, для периферийной – D8330 (аналог T15K6).

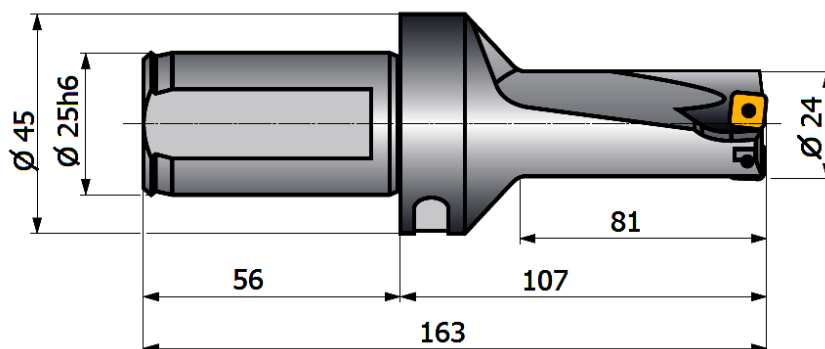


Рисунок 41 – 803D-24 сверло PRAMET

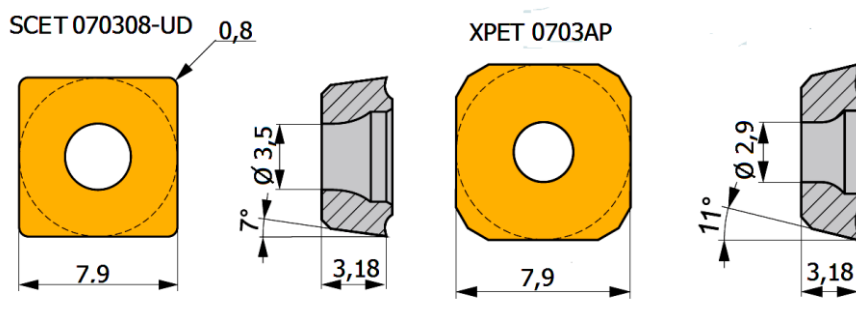


Рисунок 42 – Эскизы пластин

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72

- 803D-50-150-S40 сверло PRAMET (эскиз изображен на рисунке 43).
Пластина в центре ХРЕТ1504АР (марка сплава D8345), на периферии – SCET150512-UD (марка сплава D8330). Эскиз пластин приведен на рисунке 44.

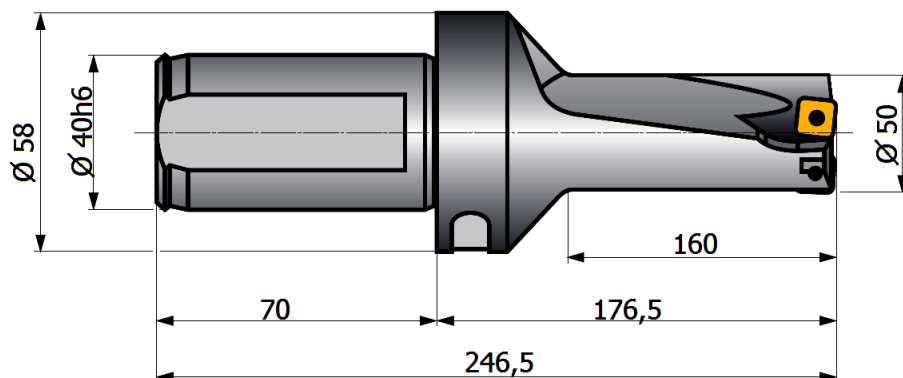


Рисунок 43 – 803D-50-150-S40 сверло PRAMET

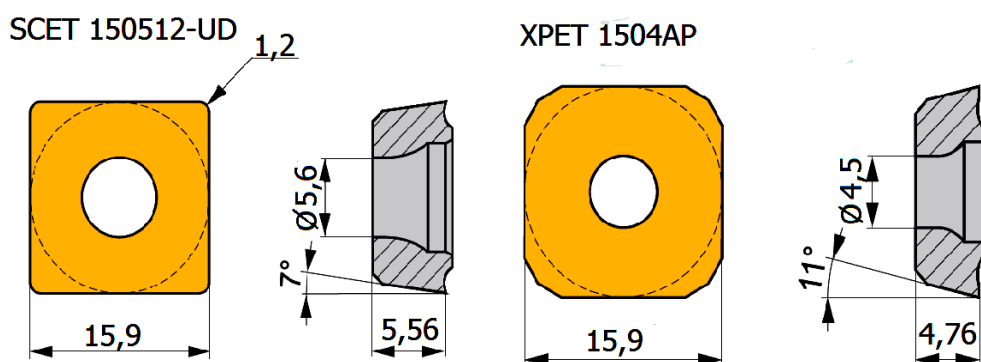


Рисунок 44 – Эскиз пластин

- А40Т–PWLNR 08 резец для растачивания PRAMET (рисунок 45).
Пластина 080404 E-FM из сплава Т9325 (российский аналог Т15К6), $\lambda_s = -12^0$, $\gamma_0 = -6^0$. Эскиз приведен на рисунке 46.

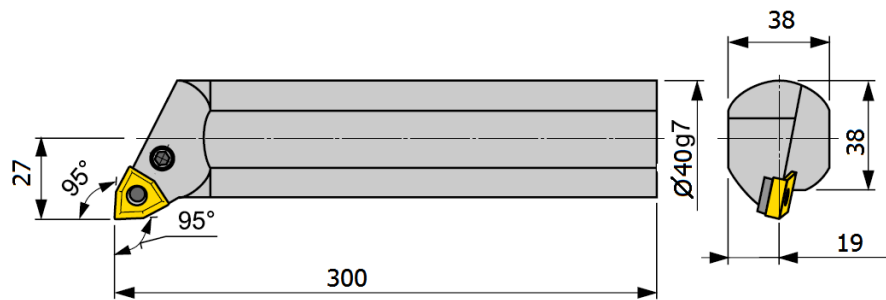


Рисунок 45 – А40Т–PWLNР 08 резец PRAMET

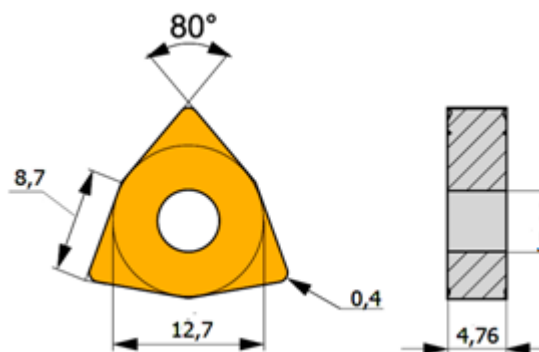


Рисунок 46 – 080404 E–FM пластина

Для получения фасок 13 применяется А25R-SDUCR 11 резец PRAMET (эскиз приведен на рисунке 47). Угол наклона $\lambda_B^0 = -3^0$. Пластина DCMT 11Т308E-FM (рисунок 48). Материал пластины Т9315 (российский аналог Т15К6), $\gamma_0 = 0^0$.

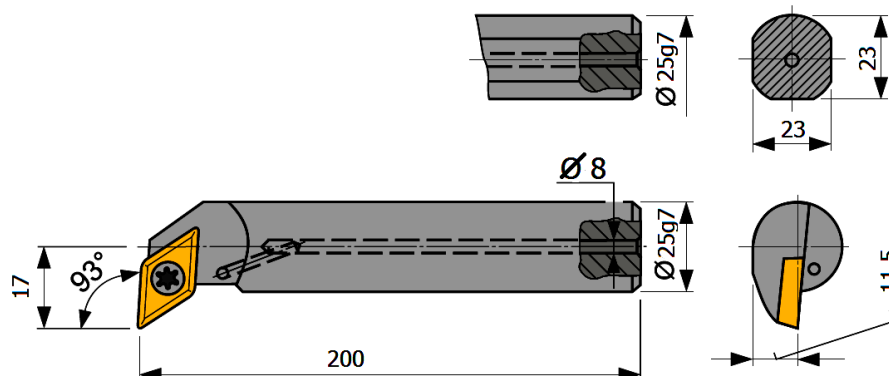


Рисунок 47 – А25R-SDUCR 11 резец PRAMET

						15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			74

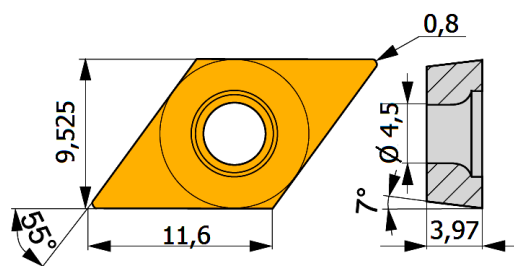


Рисунок 48 – Эскиз пластины DCMT 11T308E-FM

3.4 Проектирование и расчет специального режущего инструмента

Для обработки двойной шестерни необходимо спроектировать два специальных режущих инструмента – червячную фрезу для нарезания зубьев на большем венце (В), долбяк для нарезания зубьев на меньшем венце (Г).

3.4.1 Расчет и проектирование червячной фрезы

Проектируемая червячная фреза предназначена для нарезания зубьев большего венца двойной шестерни. Через этот венец передается вращение. Для проектирования была выбрана насадная червячная фреза цельной конструкции, т.к. она вполне подходит для выполнения поставленной задачи, класс точности D. В качестве материала была выбрана инструментальная быстрорежущая сталь P6M5Ф3 ГОСТ 19265-73. Материал обладает повышенной износостойкостью и прочностью, предназначен для чистовых инструментов для обработки легированных конструкционных сталей.

Исходные данные для проектирования.

Для проектирования фрезы необходимо знать [13, с.247]:

- 1) модуль нормальный колеса $m = m_n = 6$ мм;
- 2) угол профиля нарезаемого колеса $\alpha = 20^0$;
- 3) коэффициент высоты головки зуба колеса $h_a^* = 1$;
- 4) коэффициент высоты ножки зуба колеса $h_f^* = 1,25$;
- 5) коэффициент радиального зазора $c^* = 0,25$;
- 6) угол наклона линии зуба колеса $\beta = 12^0$ и направление зуба – левое;
- 7) точность нарезаемого колеса 12-A;
- 8) назначение фрезы – чистовая;

									Лист
									75
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

9) материал обрабатываемой детали – сталь 12ХНЗА, твердость не более 217 НВ ГОСТ 4543-71.

Расчет основных параметров нарезаемого колеса.

Проведен расчет конструктивных параметров косозубого колеса при угле наклона зуба $\beta = 12^0$, числе зубьев колеса $z = 25$, коэффициенте смещения $x = +0,012$.

Торцовый шаг и модуль:

$$p_t = \frac{p}{\cos \beta}, \quad (20)$$

$$p_t = \frac{\pi \cdot 6}{\cos 12^0} = 19,27 \text{ мм.}$$

$$m_t = \frac{m}{\cos \beta}, \quad (21)$$

$$m_t = \frac{6}{\cos 12^0} = 6,13 \text{ мм.}$$

Делительный диаметр колеса:

$$d = \frac{m \cdot z}{\cos \beta} = m_t \cdot z, \quad (22)$$

$$d = 6,134 \cdot 25 = 153,35 \text{ мм.}$$

Высота головки зуба колеса:

$$h_a = (h_a^* + x) \cdot m, \quad (23)$$

$$h_a = (1 + 0,012) \cdot 6 = 6,072.$$

Диаметр окружности вершин зубьев:

$$d_a = \frac{m \cdot z}{\cos \beta} + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m, \quad (24)$$

$$d_a = 153,35 + 2 \cdot 6,072 = 165,494 \text{ мм.}$$

Коэффициент радиального зазора:

$$c = c^* \cdot \cos \beta, \quad (25)$$

$$c = 0,25 \cdot \cos 12^0 = 0,245.$$

Высота ножки зуба колеса:

$$h_f = (h_a^* + c^* - c) \cdot m, \quad (26)$$

$$h_f = (1 + 0,25 - 0,245) \cdot 6 = 6,03.$$

Коэффициент смещения:

$$x_t = x \cdot \cos \beta, \quad (27)$$

						Лист
					15.03.05.2017.413 ПЗ	76
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$x_t = 0,012 \cdot \cos 12^\circ = 0,012.$$

Толщина зуба на делительном цилиндре:

$$S_t = \frac{(0,5 \cdot \pi + 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot m}{\cos \beta}, \quad (28)$$

$$S_t = \frac{(0,5 \cdot \pi + 2 \cdot 0,012 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ) \cdot 6}{\cos 12^\circ} = 9,615 \text{ мм.}$$

Торцовый угол профиля:

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}, \quad (29)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 12^\circ} = 0,3721,$$

$$\alpha_t = 20,41^\circ = 20^\circ 24'.$$

В дальнейших расчетах индексы для величин, относящихся к инструменту – 0, к нарезаемому колесу – 1.

Выбор угла профиля и числа заходов фрезы. Угол профиля червяка принимается равным углу профиля зубьев колеса, т.е. $\alpha_{n,0} = \alpha_{n,1} = \alpha = 20^\circ$. Число заходов выбирается в зависимости от служебного назначения. Для чистовых фрез число заходов $z_{10} = 1$.

Размеры зубьев фрезы в нормальном сечении.

Угол профиля фрезы выбран выше ($\alpha_{n,0} = 20^\circ$).

Шаг зубьев в нормальном сечении [14, с.154]:

$$P_{n0} = \pi \cdot m \cdot \frac{\cos \alpha_{n1}}{\cos \alpha_{n0}}, \quad (30)$$

$$P_{n0} = \pi \cdot 6 \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos 20^\circ} = 18,845 \text{ мм.}$$

Ход зубьев по нормали:

$$P_{zn} = P_{n0} \cdot z_{10}, \quad (31)$$

$$P_{zn} = 18,85 \cdot 1 = 18,845 \text{ мм.}$$

Толщина зуба в нормальном сечении (для чистовых фрез):

$$S_{n0} = P_{n0} - S_{nw1}, \quad (32)$$

где $S_{nw1} = \frac{\pi m}{2} - \Delta S_y$ – толщина зуба колеса по делительной окружности с учетом необходимого бокового зазора в передаче; ΔS_y – величина

утопления зубьев нарезаемых колес для образования бокового зазора после чистовой обработки. Для $m = 6$ $\Delta S_y = 0,12$ мм [13, с.255].

$$S_{nw1} = \frac{\pi \cdot 6}{2} - 0,12 = 9,305 \text{ мм.}$$

$$S_{n0} = 18,85 - 9,305 = 9,545 \text{ мм.}$$

Высота головки зуба фрезы:

$$h_{a0} = h_{f1} = 6,03 \text{ мм.}$$

Высота ножки зуба фрезы:

$$h_{f0} = h_{a1} + c^* \cdot m, \quad (33)$$

$$h_{f0} = 6,072 + 0,25 \cdot 6 = 7,572 \text{ мм.}$$

Принимается $h_{f0} = 7,57$ мм.

Полная высота зуба:

$$h_0 = h_{a0} + h_{f0}, \quad (34)$$

$$h_0 = 6,03 + 7,57 = 13,60 \text{ мм.}$$

Радиусы закруглений головки и ножки зуба:

$$r_{a0} = 0,25 \cdot m, \quad (35)$$

$$r_{f0} = 0,3 \cdot m, \quad (36)$$

$$r_{a0} = 0,25 \cdot 6 = 1,5 \text{ мм,}$$

$$r_{f0} = 0,3 \cdot 6 = 1,8 \text{ мм.}$$

Толщина зуба фрезы по средней прямой в нормальном сечении к ее виткам:

$$S_{п0ср} = S_{п0} + 2 \cdot \Delta_1 \cdot \operatorname{tg}\alpha, \quad (37)$$

где $\Delta_1 = \frac{h_{f0} - h_{a0}}{2}$ – смещение средней прямой рейки фрезы относительно ее начальной прямой.

$$\Delta_1 = \frac{7,57 - 6,03}{2} = 0,77.$$

$$S_{п0ср} = 9,545 + 2 \cdot 0,77 \cdot \operatorname{tg}20^\circ = 10,1 \text{ мм.}$$

Выбор геометрических и конструктивных параметров фрез.

Задний угол при вершине зуба обычно $\alpha_b = 9 \dots 15^\circ$. Задний угол на боковых сторонах зубьев в нормальном сечении:

									Лист
									78
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{бн}} = \operatorname{tg}\alpha_{\text{в}} \cdot \sin\alpha_{\text{н0}}. \quad (38)$$

Минимальное значение $\alpha_{\text{бн}} = 2^{\circ}$.

Таким образом, при $\alpha_{\text{в}} = 9^{\circ}$, $\operatorname{tg}\alpha_{\text{бн}} = \operatorname{tg}9^{\circ} \cdot \sin 20^{\circ} = 0,057647$, $\alpha_{\text{бн}} = 3,299^{\circ} = 3^{\circ}18'$.

Передний угол у чистовых фрез $\gamma = 0^{\circ}$.

Диаметр посадочного отверстия фрезы:

$$d_0 = 14,21 \cdot h_0^{0,373}, \quad (39)$$

$$d_0 = 14,21 \cdot 13,60^{0,373} = 37,62 \text{ мм.}$$

Полученное значение округляется до ближайшего большего стандартного в соответствии с ГОСТ 9472-90 [13, с.254]. Т.е. $d_0 = 40$ мм. Сразу же определяются размеры шпоночного паза. Червячные зуборезные фрезы изготавливают только с продольным шпоночным пазом. Размеры шпоночного паза назначают в зависимости от его типа и диаметра посадочного отверстия согласно ГОСТ 9472-90 [14, с. 165]: $b = 10^{+0,30}_{+0,10}$, $t' = 43,5^{+0,62}$, $r = 1$ мм. Высота шпонки для таких параметров паза $h_{\text{шп}} = 8$ мм. Шпоночный паз и его параметры приведены на рисунке 49.

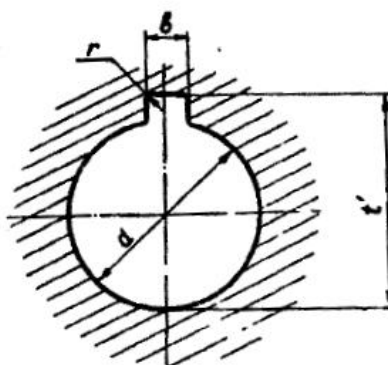


Рисунок 49 – Параметры шпоночного паза

Диаметр окружности впадин между зубьями фрезы в целях достаточной прочности должен быть не менее:

$$d_{\text{вп}} = 1,75 \cdot d_0, \quad (40)$$

$$d_{\text{вп}} = 1,75 \cdot 40 = 70 \text{ мм.}$$

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		79

Полная высота зуба фрезы или глубина стружечной канавки (для фрез со шлифованным профилем зубьев):

$$H_K = h_0 + \frac{K+K_1}{2} + r_0, \quad (41)$$

где K и K_1 – величины затылования на вершине зуба, r_0 – радиус закругления дна канавки ($r_0 = 0,5 \dots 2$ мм):

$$K = \frac{\pi \cdot d_{a0}}{z_0} \cdot \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (42)$$

$$K_1 = (1,2 \dots 1,5) \cdot K, \quad (43)$$

Принимается $r_0 = 2$ мм. Т.к. наружный диаметр d_{a0} неизвестен, то для определения величины K можно воспользоваться ориентировочными значениями [12, с.141]. Для $m = 6$ $K = 6$. Тогда $K_1 = 1,5 \cdot 6 = 9$. Т.о. полная высота зуба или глубина стружечной канавки фрезы:

$$H_K = 13,6 + \frac{6+9}{2} + 2 = 23,1 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фрезы:

$$d_{a0} \geq d_{вп} + 2H_K, \quad (44)$$

$$d_{a0} = 70 + 2 \cdot 23,1 = 116,2 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 9324-80Е принимаем $d_{a0} = 118$ мм.

Число зубьев (стружечных канавок) для фрез с $\gamma = 0^0$ и $z_{10} = 1$:

$$z_0 = \frac{0,4835 \cdot d_{вп}}{h_0^{0,452}}, \quad (45)$$

$$z_0 = \frac{0,4835 \cdot 70}{13,6^{0,452}} = 10,4.$$

Принимается $z_0 = 10$.

Угол стружечной канавки θ принимается в зависимости от z_0 . Для $z_0 = 10$ $\theta = 22^0$.

По величине второго затылования должен быть построен диаметр d'_{a0} несколько больший, чем диаметр вершин зубьев на величину a . Эта величина определяется:

$$a = \frac{(K_1 - K)}{2}, \quad (46)$$

$$a = \frac{(9 - 6)}{2} = 1,5 \text{ мм.}$$

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		80

Тогда:

$$d'_{a0} = d_{a0} + a, \quad (47)$$

$$d'_{a0} = 118 + 1,5 = 119,5 \text{ мм.}$$

Диаметр начального цилиндра фрезы в исходном (расчетном) сечении:

$$d_{m0} = d_{a0} - 2 \cdot h_{a0} - 0,3 \cdot K, \quad (48)$$

$$d_{m0} = 118 - 2 \cdot 6,03 - 0,3 \cdot 6 = 104,14 \text{ мм.}$$

Угол подъема витков фрезы на начальном цилиндре в расчетном сечении, необходимы для определения угла установки фрезы относительно обрабатываемого колеса, считается с точностью до 1':

$$\sin \gamma_{m0} = \frac{P_{n0} \cdot z_{10}}{\pi \cdot d_{m0}}, \quad (49)$$

$$\sin \gamma_{m0} = \frac{18,845 \cdot 1}{\pi \cdot 104,14} = 0,0576,$$

$$\gamma_{m0} = 3,302^\circ = 3^0 18'.$$

Ход витков фрезы (с точностью до 0,001 мм):

$$P_{z0} = \frac{P_{zn}}{\cos \gamma_{m0}}, \quad (50)$$

$$P_{z0} = \frac{18,845}{\cos 3^0 18'} = 18,876 \text{ мм.}$$

Шаг витков:

$$P_{x0} = \frac{P_{z0}}{\cos \gamma_{m0}}, \quad (51)$$

$$P_{x0} = \frac{18,88}{\cos 3^0 18'} = 18,807 \text{ мм.}$$

Толщина зуба в осевой плоскости:

$$S_{x0} = S_{n0} \cdot \cos \gamma_{m0}, \quad (52)$$

$$S_{x0} = 9,545 \cdot \cos 3^0 18' = 9,529 \text{ мм.}$$

Выбирается угол наклона λ_{m0} стружечных канавок. Обычно принимается $\lambda_{m0} = \gamma_{m0} = 3^0 18'$.

Определяется шаг стружечных канавок (с точностью до 1мм):

$$P_z = \pi \cdot d_{m0} \cdot \operatorname{ctg} \lambda_{m0}, \quad (53)$$

$$P_z = \pi \cdot 104,14 \cdot \operatorname{ctg} 3^0 18' = 5670 \text{ мм.}$$

Диаметр выточки в отверстии фрезы:

$$d_{\text{выт}} = 1,05 \cdot d_0, \quad (54)$$

$$d_{\text{выт}} = 1,05 \cdot 40 = 42 \text{ мм.}$$

Диаметр буртиков фрезы:

$$d_1 = d_{a0} - 2 \cdot H_k - (1 \dots 2) \text{ мм}, \quad (55)$$

$$d_1 = 118 - 2 \cdot 23,1 - 1,8 = 70 \text{ мм.}$$

Длина буртиков $l = 4 \dots 6$ мм, принимается $l = 4$ мм.

Угол установки оси фрезы по отношению к торцу колеса:

$$\psi = \beta \pm \gamma_{m0}, \quad (56)$$

где знак «-» принимается при одноименном направлении зубьев колеса и витков фрезы, а «+» – при разноименном.

Направление витков фрезы. Если фреза изготавливается для нарезания прямозубых колес, то принимается правое направление витков, если для косозубых – направление совпадает с наклоном зуба колеса (например, для колеса с правым наклоном зуба применяется правое направление витков фрезы). Направление стружечных канавок. Чтобы получить одинаковые передние углы на обеих сторонах зубьев стружечные канавки выполняются винтовыми. Передняя поверхность канавок располагается по нормали к виткам по среднему расчетному цилиндру (т.е. на расчетном цилиндре угол наклона канавки равен углу подъема витков), поэтому направление стружечных канавок обратно направлению витков фрезы (для правых витков канавки левые и наоборот) [14, с.161].

Таким образом, выбирается левое направление витков фрезы с правыми осевыми стружечными канавками.

Тогда:

$$\psi = 12^{\circ} - 3^{\circ}18' = 8^{\circ}42'.$$

Фреза во время работы изнашивается неравномерно, поэтому желательно периодически передвигать фрезу на оправке и вводить в работу не затупившиеся зубья для увеличения срока службы инструмента. С этой целью предусматривают некоторый запас длины на возможные перемещения

									Лист
									82
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

на оправке, равный $(X \cdot P_{n0})$., когда рассчитывается длина рабочей части фрезы. А так же необходимо исключить возможность работы инструмента крайними частями зубьев (которые в силу винтового профиля обладают меньшей толщиной). Для этого намеренной прибегают к увеличению длины фрезы на один шаг [14, с.166]. Длину рабочей части фрезы определяют по формуле:

$$L_p = h_0 \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{n0} + X \cdot P_{n0}, \quad (57)$$

где X – коэффициент, принимаемый по таблице [14, с.167] в зависимости от модуля (для большего модуля коэффициент X меньше), $X = 3$. Тогда:

$$L_p = 13,6 \cdot \operatorname{ctg} 20^\circ + 3 \cdot 18,845 = 94 \text{ мм.}$$

Общая длина фрезы:

$$L = L_p + 2 \cdot l, \quad (58)$$

$$L = 94 + 2 \cdot 4 = 102 \text{ мм.}$$

Принимается $L = 102$ мм.

Длина шлифованной части посадочного отверстия l с каждого торца (подсчитывается с точностью до 1 мм) определяется по формуле:

$$l_{\text{ш}} = (0,2 \dots 0,3) \cdot L, \quad (59)$$

$$l_{\text{ш}} = (0,2 \dots 0,3) \cdot 102 = 20,4 \dots 30,6.$$

Принято $l = 26$.

Профилирование червячных фрез. Нахождение режущих кромок на поверхности эвольвентного червяка обеспечивает точное нарезание зубьев колеса, но такие фрезы практически не применяются из-за сложности их изготовления и контроля. Существуют методы приближенного профилирования: боковые режущие кромки расположены на винтовых поверхностях, близких к эвольвентной винтовой поверхности. Однако при замене исходного эвольвентного червяка на приближенный приходится необходимо решить задачу профилирования, т.е. определения угла профиля червяка $\alpha_{\text{ч}}$, заменяющего эвольвентный червяк. Наибольшее распространение получили два приближенных метода профилирования: архимедов червяк (прямолинейный профиль зубьев принимается в осевом

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		83

сечении) и конволютный червяк (прямолинейный профиль в нормальном сечении). В сечениях задаются углы профиля фрезы [14, с.162]. Погрешность профилирования у фрез спроектированных на основе архимедова червяка, меньше, чем у фрез, спроектированных на основе конволютного червяка, поэтому за основу принят архимедов червяк.

Т.к. выбран архимедов червяк и осевые стружечные канавки винтовые, то расчетные профильные углы для правой (α_R) и левой (α_L) сторон профиля в осевом сечении:

$$\operatorname{ctg}\alpha_{oR} = \operatorname{ctg}\alpha_{\text{ч}} \mp \frac{Kz_0}{P_z}, \quad (60)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha_{oL} = \operatorname{ctg}\alpha_{\text{ч}} \pm \frac{Kz_0}{P_z}, \quad (61)$$

где верхние знаки принимаются для правоходных фрез, а нижние – для левозаходных. Тогда:

$$\operatorname{ctg}\alpha_{oR} = \operatorname{ctg}21^\circ + \frac{6 \cdot 10}{5670} = 2,616,$$

$$\operatorname{ctg}\alpha_{oL} = \operatorname{ctg}21^\circ - \frac{6 \cdot 10}{5670} = 2,595.$$

$$\alpha_{oR} = 20,922^\circ = 20^{\circ}55'$$

$$\alpha_{oL} = 21,078^\circ = 21^{\circ}4'.$$

Чертеж фрезы выполнен на формате A_2 и приложен к пояснительной записке.

3.4.2 Проектирование долбяка

Зуборезные долбяки применяют для нарезания зубчатых колес с прямыми и винтовыми зубьями с наружным и внутренним их расположением и с наружными шевронными зубьями.

Для нарезания малого венца двойной шестерни выбран чашечный долбяк, т.к. конструкция детали не позволяет применить другой тип, класс точности В. В качестве материала выбрана быстрорежущая сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73 (НВ не более 255 единиц).

Исходные данные.

Для проектирования необходимо знать [14, с.174]:

						15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			84

- 1) профильный угол в нормальном сечении $\alpha = 20^0$;
- 2) профильный угол в торцовом сечении $\alpha_t = 20^0$;
- 3) модуль нормальный $m = 6$ мм;
- 4) модуль торцовый $m_t = 6$ мм;
- 5) число зубьев нарезаемого колеса z_1 и число зубьев сопряженного колеса z_2 . Из условий сборки: $z_1 = z_2 = 15$;
- 6) угол наклона зубьев $\beta = 0^0$;
- 7) коэффициент смещения исходного контура нарезаемого колеса $x_1 = +0,353$;
- 8) коэффициент высоты зуба $h_a^* = 1$;
- 9) коэффициент высоты ножки зуба колеса $h_f^* = 1,25$;
- 10) коэффициент радиального зазора $c^* = 0,25$;
- 11) степень точности нарезаемого колеса – не указана.

Расчет основных параметров нарезаемого колеса. По имеющимся данным необходимо рассчитать основные параметры нарезаемого колеса и колеса с ним сопряженного. Для удобства исходные данные и расчеты сведены в таблицу 1, где индекс «1» соответствует нарезаемому колесу, а «2» – сопряженному.

Толщина зуба корригированного колеса в сечении, нормальном к винтовой линии на делительном цилиндре при коэффициенте смещения исходного контура x :

$$S_{n1} = \frac{\pi \cdot m_{n1}}{2} - \Delta S + 2 \cdot x \cdot m_{n1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{n1}, \quad (62)$$

$$S_{n1} = \frac{\pi \cdot 6}{2} - 0,2 + 2 \cdot 0,353 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg} 20^0 = 10,767 \text{ мм.}$$

Толщина зуба колеса в сечении, нормальном к винтовой линии зуба, на начальном цилиндре:

$$S_{nw1} = 2 \cdot r_{w1} \left(\frac{S_{n1}}{2 \cdot r_1 \cdot \cos \beta_1} + \operatorname{inv} \alpha_{t1} - \operatorname{inv} \alpha_{tw1} \right) \cos \beta_{w1}, \quad (63)$$

$$S_{nw1} = 2 \cdot 45 \left(\frac{10,767}{2 \cdot 45 \cdot \cos 0^0} + \operatorname{inv} 20^0 - \operatorname{inv} 20^0 \right) \cos 0^0 = 10,767 \text{ мм.}$$

Геометрические параметры. Значения передних γ_B и задних α_B углов назначаются для вершинного лезвия зуба (по окружности вершин). Они влияют не только на процесс резания, но и на количество возможных переточек, а также на точность профиля нарезаемых колес зубьев долбяка. Их значения принимают в ограниченных пределах: $\alpha_B = 6^\circ$, $\gamma_B = 5^\circ$ (для чистовых долбяков) [14, с.175].

Таблица 7 – Параметры колес

Параметры нарезаемого колеса	Параметры сопряженного колеса
Межосевое расстояние $a_w = 0$	
Коэффициент смещения: $x_1 = x_2 = 0,353$ (по условиям сопряжения)	
Диаметры делительных окружностей	
$d_1 = m \cdot z_1 = 6 \cdot 15 = 90$ мм	$d_2 = m \cdot z_2 = 6 \cdot 15 = 90$ мм
Высота головки зуба	
$h_{a1} = (h_a^* + x_1) \cdot m = (1 + 0,353)6 = 8,12$ мм	$h_{a2} = (h_a^* - x_2) \cdot m = (1 - 0,353)6 = 3,88$ мм
Высота ножки зуба	
$h_{f1} = (h_f^* + c^* - x_1) \cdot m = (1,25 + 0,25 - 0,353)6 = 6,88$ мм	$h_{f2} = (h_f^* + c^* + x_2) \cdot m = (1,25 + 0,25 + 0,353)6 = 11,12$ мм
Диаметры основных окружностей	
$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha = 90 \cdot \cos 20^\circ = 84,57$ мм	$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha = 90 \cdot \cos 20^\circ = 84,57$ мм
Диаметры окружностей вершин зубьев	
$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot h_{a1} = 90 + 2 \cdot 8,12 = 106,24$ мм	$d_{a2} = d_2 - 2 \cdot h_{a2} = 90 - 2 \cdot 3,88 = 82,24$ мм
Диаметры окружностей впадин зубьев	
$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = 90 - 2 \cdot 6,88 = 76,24$ мм	$d_{f2} = d_2 + 2h_{f2} = 90 + 2 \cdot 11,12 = 112,24$ мм

Модуль нормальный и торцовый соответственно: $m_n = m_t = m = 6$ мм.

Изменение толщины зуба долбяка по дуге делительного цилиндра по длине зуба образует задний угол на боковых режущих кромках. Задний угол боковой поверхности зуба в сечении плоскостью, касательной к делительному цилиндру долбяка:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{бок}} = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (64)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{бок}} = \operatorname{tg}6^{\circ} \cdot \operatorname{tg}20^{\circ} = 0,03825$$

$$\alpha_{\text{бок}} = 2,191 = 2^{\circ}11'.$$

Для уменьшения искажений профиля режущих кромок долбяка от наличия углов $\alpha_{\text{в}}$ и $\gamma_{\text{в}}$ корректируется профильный угол α_0 долбяка по формуле для прямоугольного долбяка [14, с.181]:

$$\operatorname{tg}\alpha_0 = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{1 - \operatorname{tg}\gamma_{\text{в}} \cdot \operatorname{tg}\alpha_{\text{в}}}, \quad (65)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_0 = \frac{\operatorname{tg}20^{\circ}}{1 - \operatorname{tg}5^{\circ} \cdot \operatorname{tg}6^{\circ}} = 0,367,$$

$$\alpha_0 = 20,153^{\circ} = 20^{\circ}9'.$$

Число зубьев долбяка предварительно:

$$z_0 = \frac{d_{0\text{ном}}}{m}, \quad (66)$$

где $d_{0\text{ном}}$ – номинальный делительный диаметр. Он выбирается по ГОСТ 9323-79 в зависимости от модуля. Для $m = 6$ можно выбрать несколько делительных диаметров: 100, 125, 160, 200 мм. Принимается наименьший, но при подсчете числа зубьев с выбранным диаметром необходимо, чтобы соблюдалось условие $15 \leq z_0 \leq 75$.

Число зубьев:

$$z_0 = \frac{100}{6} = 16,667.$$

Полученное значение округляется до ближайшего целого, т.е. $z_0 = 16$.

Корректировка делительного диаметра:

$$d_0 = z_0 \cdot m, \quad (67)$$

$$d_0 = 16 \cdot 6 = 96 \text{ мм.}$$

Размеры долбяка в исходном сечении. Размеры венца долбяка изменяются по длине зуба. Исходное сечение характеризуется отсутствием смещения, т.е. $A = 0$ ($x_0 = 0$) [14, с.176]. Высота головки и ножки зуба:

$$h_{a0\text{исх}} = h_{f1} = 6,88 \text{ мм}; \quad (68)$$

$$h_{f0\text{исх}} = h_{a1} + c^* \cdot m, \quad (69)$$

$$h_{f0\text{исх}} = 8,12 + 0,25 \cdot 6 = 9,62 \text{ мм}$$

Диаметры окружностей выступов и впадин:

									Лист
									87
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ				

$$d_{a0исх} = d_0 + 2 \cdot h_{a0исх}, \quad (70)$$

$$d_{f0исх} = d_0 - 2 \cdot h_{f0исх}. \quad (71)$$

$$d_{a0исх} = 96 + 2 \cdot 6,88 = 109,76 \text{ мм},$$

$$d_{f0исх} = 96 - 2 \cdot 9,62 = 76,76 \text{ мм}.$$

Диаметр основной окружности:

$$d_{b0} = d_0 \cdot \cos \alpha, \quad (72)$$

$$d_{b0} = 96 \cdot \cos 20^\circ = 90,21 \text{ мм}.$$

Толщина зуба по дуге делительной окружности:

$$S_{0исх} = 0,5 \cdot \pi \cdot m + \Delta S, \quad (73)$$

где ΔS – утолщение зуба (для $m = 6$ $\Delta S = 0,2$ мм) [12, с.131].

$$S_{0исх} = 0,5 \cdot \pi \cdot 6 + 0,2 = 9,625 \text{ мм}.$$

Угол давления эвольвенты на головке зуба:

$$\cos \alpha_{\text{та}0исх} = \frac{d_{b0}}{d_{a0исх}}, \quad (74)$$

$$\cos \alpha_{\text{та}0исх} = \frac{90,21}{109,76} = 0,8219,$$

$$\alpha_{\text{та}0исх} = 34,727^\circ = 35^\circ.$$

Толщина зуба на окружности выступов:

$$S_{a0исх} = d_{a0исх} \cdot \left(\frac{S_{0исх}}{d_0 \cdot \cos \beta} + \text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_{\text{та}0исх} \right), \quad (75)$$

$$S_{a0исх} = 109,76 \cdot \left(\frac{9,625}{90,21 \cdot \cos 0^\circ} + \text{inv} 20^\circ - \text{inv} 35^\circ \right) = 3,541 \text{ мм}.$$

Величина смещения исходного контура. Величина исходного контура A – расстояние от переднего торца нового долбяка до исходного сечения. Коэффициент смещения исходного контура x_0 зуба долбяка (расстояние A исходного сечения) влияет на его конструктивные размеры, условия работы и образование профиля зубьев нарезаемого колеса.

Расчетную величину смещения исходного контура можно определить несколькими способами.

По одному из методов, можно рассчитать величину исходного расстояния, воспользовавшись формулой [15, с.23]:

$$a = \frac{(\text{inv} \alpha_c - \text{inv} \alpha_0)(d_1 + d_0)}{c}. \quad (76)$$

						15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			88

Для этого рассчитывается станочный угол зацепления сточенного долбяка, вызывающий подрез ножки зуба обрабатываемого колеса:

$$\begin{aligned} \operatorname{os}\alpha_c &= \frac{2 \cdot d_{f1} \cdot (d_{b1} + d_{b0})}{(d_{b1} + d_{b0})^2 + d_{f1}^2 - d_{b0}^2}, \\ \cos\alpha_c &= \frac{2 \cdot 76,24 \cdot (84,57 + 90,21)}{(84,57 + 90,21)^2 + 76,24^2 - 90,21^2} = 0,944, \\ \alpha_c &= 19,265^\circ = 19^{\circ}16'. \end{aligned} \quad (77)$$

Тогда:

$$a = \frac{(\operatorname{inv} 19,265 - \operatorname{inv} 20,153)(90 + 96)}{2 \cdot \operatorname{tg} 2,191} = -4,837 \approx -4,8 \text{ мм.}$$

Так же для достаточной стойкости долбяка толщина его зуба S_{a0} на окружности выступов не должна быть меньше допустимой величины. Минимально допустимая по условию стойкости ширина головки зуба нового долбяка для $d_0 \geq 50$ мм:

$$\begin{aligned} S_{a0} &= \sqrt{0,2594m - 0,0375}, \\ S_{a0} &= \sqrt{0,2594 \cdot 6 - 0,0375} = 1,232 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (78)$$

На основе формулы В.Ф. Романова:

$$a_{\text{расч}} = \frac{(S_{a0\text{исх}} - S_{a0}/\cos\beta) \cdot d_{a0\text{исх}}}{2 \cdot \operatorname{tg}\alpha_{\text{в}}(d_{a0\text{исх}} \cdot \operatorname{tg}\alpha_{\text{та0исх}} - S_{a0\text{исх}}) - (d_{a0\text{исх}})^2 C/d_0}, \quad (79)$$

где $C = 2 \cdot \operatorname{tg}\alpha_{\text{бок}}$ для прямозубого долбяка.

$$C = 2 \cdot \operatorname{tg} 2^{\circ}11' = 0,076.$$

Тогда:

$$A_{\text{расч}} = \frac{(3,541 - 1,232/\cos 0^\circ)109,8}{2 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ(109,8 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ - 2,541) - (109,8)^2 0,076/96} = 42,772 \approx 42,8 \text{ мм.}$$

Таким образом, получаются две величины, соответствующие исходным расстояниям, а именно – 4,8 и 42,8 мм. Наименьшее из этих расстояний является величиной отрицательного смещения, т.о. $a_c = -4,8$ мм.

Сумма смещений $H = 4,8 + 42,8 = 85,6$. Это значение превышает величину стачивания по передней поверхности $B'_p = 14,5$ мм [16, с.28, табл.8,1]. Поэтому исходное сечение можно расположить с полным использованием отрицательного исходного расстояния, т.е.:

$$a = B'_p - a_c, \quad (80)$$

						15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			89

$$a = 14,5 - 4,8 = 9,7 \text{ мм.}$$

Коэффициент смещения исходного контура:

$$x_0 = \frac{A \cdot \operatorname{tg} \alpha_B}{m}, \quad (81)$$

$$x_0 = \frac{9,7 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ}{6} = 0,170 \text{ мм.}$$

Размеры долбяка в плоскости его переднего торца. Размеры зубьев в плоскости переднего торца условно определяют в плоскости, перпендикулярной к оси долбяка, проходящей через вершины его зубьев [14, с.180].

Высота головки и ножки зуба:

$$h_{a0} = h_{a0\text{исх}} + A \cdot \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (82)$$

$$h_{f0} = h_{f0\text{исх}} - A \cdot \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (83)$$

$$h_{a0} = 6,88 + 9,7 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ = 7,9 \text{ мм,}$$

$$h_{f0} = 9,62 - 9,7 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ = 8,6 \text{ мм.}$$

Высота зуба:

$$h_0 = h_{a0} + h_{f0}, \quad (84)$$

$$h_0 = 7,9 + 8,6 = 16,5 \text{ мм.}$$

Диаметры окружностей выступов и впадин:

$$d_{a0} = d_{a0\text{исх}} + 2 \cdot A \cdot \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (85)$$

$$d_{f0} = d_{f0\text{исх}} + 2 \cdot A \cdot \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (86)$$

$$d_{a0} = 109,76 + 2 \cdot 9,7 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ = 111,8 \text{ мм,}$$

$$d_{f0} = 76,76 + 2 \cdot 9,7 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ = 78,64 \text{ мм.}$$

Толщина зуба по дуге делительной окружности:

$$S_0 = S_{0\text{исх}} + 2 \cdot A \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (87)$$

$$S_0 = 9,625 + 2 \cdot 9,7 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ \cdot \operatorname{tg} 6^\circ = 9,633 \text{ мм.}$$

Высота головки зуба по передней поверхности:

$$h_{a0\text{п.п}} = \frac{h_{a0}}{\cos \gamma_B}, \quad (88)$$

$$h_{a0\text{п.п}} = \frac{7,9}{\cos 5^\circ} = 7,93 \text{ мм.}$$

Задний и передний углы на боковых режущих кромках в нормальном сечении на делительном цилиндре:

$$\operatorname{tg}\alpha_N = \operatorname{tg}\alpha_B \cdot \sin\alpha_0, \quad (89)$$

$$\operatorname{tg}\gamma_N = \operatorname{tg}\gamma_B \cdot \sin\alpha_0, \quad (90)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_N = \operatorname{tg}6^\circ \cdot \sin 20,153^\circ = 0,0362,$$

$$\operatorname{tg}\gamma_N = \operatorname{tg}5^\circ \cdot \sin 20,153^\circ = 0,0301,$$

$$\alpha_N = 2,0756^\circ = 2^\circ 4',$$

$$\gamma_N = 1,7241^\circ = 1^\circ 43'.$$

Фактический диаметр основного цилиндра долбяка, необходимый для шлифования профиля (для прямозубого долбяка):

$$d_{b0} = d_0 \cdot \cos\alpha_0, \quad (91)$$

$$d_{b0} = 96 \cdot \cos 20,153^\circ = 90,122 \text{ мм.}$$

Общие конструктивные размеры принимаются в соответствии с ГОСТ 9323-79:

- высота долбяка $B = 34$ мм;
- диаметр посадочного отверстия $d_{\text{отв}} = 31,75$ мм;
- диаметр выточки $d_2 = 45$ мм;
- диаметр ступицы $d_3 = 60$ мм;
- ширина ступицы $b_1 = 12$ мм;
- длина зубьев $b_0 = 22$ мм.

3.5 Выбор измерительного оборудования и оснастки на операциях технического контроля

Операции проектируемого технологического процесса содержат контрольные переходы. Для контроля линейных размеров подбирается штангенциркуль с цифровым отсчетным устройством MarCal 16 ER от компании «Math», приведенный на рисунке 50.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		91



Рисунок 50 – Штангенциркуль MarCal 16 ER

Для контроля зубчатых венцов в каталоге той же фирмы подбираются скобы индикаторные 840 FM MaraMetr M с измерительными губками. Для малого венца скоба с диапазоном измерений до 0...40 мм, для большего – с диапазоном 40...80 мм, общий вид инструмента изображен на рисунке 51.

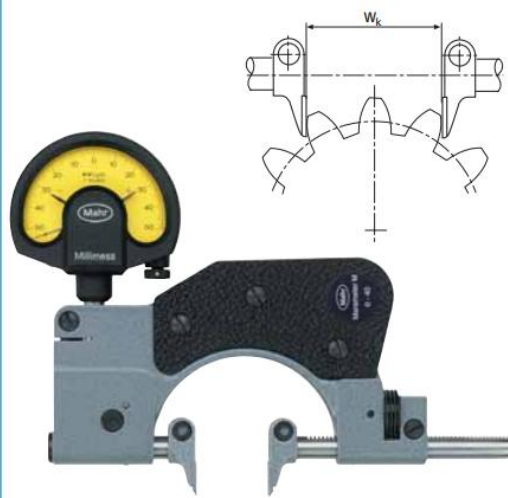
Для измерения диаметра под дальнейшее зубофрезерование используется 8118-0021 калибр-скоба ГОСТ 2216-84, а для диаметра под зубодолбление – 8118-0015 калибр-скоба ГОСТ 2216-84 (рисунок 52).

Для проверки шага выбран шагомер, представленный на рисунке 53. Его характеристики: модуль m : 1...16 мм, цена деления $\pm 0,0005$ мм, погрешность $\pm 0,006$ мм.

Отверстие $\varnothing 54,4_{-0,46}$ контролируется калибром-пробкой.

Параметры биения цилиндрических и торцовых поверхностей непосредственно на рабочих местах проверяются на приборе, состоящем из станины, правой и левой бабок, узла каретки со стойкой индикатора, оснащенной микроподачей, индикатора часового типа ИЧ-10 (рисунок 54).

Скобы индикаторные 840 FM MaraMeter M с измерительными губками



Особенности

- Для измерения диаметров узких буртиков, заплечиков валов и ширины канавок, а также нормали зубчатых колес W_k и непрямого, без базирования, определения толщины зуба цилиндрических прямозубых колес с прямыми и спиральными зубьями
- Жесткая ковчаная стальная скоба с теплоизоляционными накладками
- Подвижная губка смонтирована в удлиненной направляющей с рычажным отводом
- Максимальная износоустойчивость благодаря бесконтактной установке в требуемое положение в сочетании с твердосплавными измерительными поверхностями
- Переставная пятка имеет тонкую установку
- Подвижная и переставная пятки изготовлены из закаленной нержавеющей стали, на пятках установлены измерительные губки, оснащенные твердым сплавом
- Постоянное измерительное усилие благодаря встроенной пружине, таким образом устраняется влияние оператора
- Универсальны и чрезвычайно многофункциональны. Каждый инструмент охватывает широкий диапазон измерений, любой размер и зазор внутри этого диапазона устанавливается достаточно быстро и легко

Технические характеристики

Диапазон измерений мм	Измерительное усилие Н	Измерительные поверхности			Нормаль зуба измер. модуль от m	№ заказа*	№ заказа Деревянный футляр
		площадь мм	плоскостн. мкм	параллельн. мкм			
0 - 40	7,5	12 x 12	≤ 0,5	≤ 2	0,5	4452000	4450011
40 - 80	7,5	12 x 12	≤ 0,5	≤ 3	0,5	4452001	4450012

Рисунок 51 – Скоба индикаторная 840 FM MaraMetr M с измерительными губками



Рисунок 52 – Калибр-скоба ГОСТ 2216-84

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

15.03.05.2017.413 ПЗ

Лист

93



Рисунок 53 – Шагомер

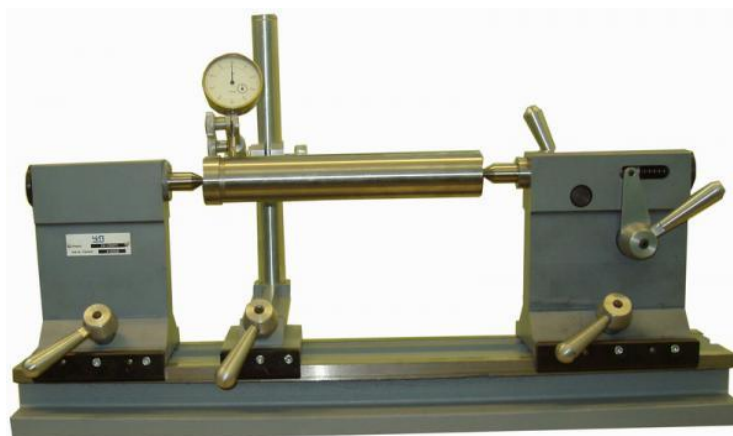


Рисунок 54 – Прибор ПБ 1600

Окончательный контроль в условиях современного производства проводится при помощи различных координатно-измерительных машин (КИМ). Для комплексного контроля выбраны три КИМ:

1. MarGear GMX 275C фирмы Mahr;
2. Klingelnberg P 40;
3. WENZEL WGT 280.

Универсальный измерительный центр MarGear GMX 275C обеспечивает точное и автоматическое измерение зубчатых колес и зуборезных инструментов наружным диаметром до 275 мм.

Прецизионный координатно-вычислительный центр Klingelnberg P 40 обеспечивает полностью автоматическое измерение цилиндрических,

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ					94

конических колес, а также зуборезного инструмента, подходит для контроля общих отклонений размеров, форм и расположения вращательно-симметричных деталей, диаметром до 400 мм.

Координатно-измерительная машина WENZEL WGT 280 подходит для измерения небольших зубчатых колес (диаметром до 280 мм), инструментов и деталей типа тела вращения.

Характеристики машин сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Характеристики КИМ

	MarGear GMX 275C	Klingelnberg P 40	WENZEL WGT 280
Общий вид			
Макс. диаметр детали, мм	275	400	280
Угол наклона профиля зубчатого колеса, град	0...90	0...90	0...90
Расстояние между центрами, мм	450	50...800	50...500
Способ крепления детали	в центрах/в зажимном устройстве	в центрах/в зажимном устройстве	в центрах/в зажимном устройстве
Точность измерения по VDI/VDE 2612/2613 при 20°C ± 2°C	группа I	группа I	группа I
Максимальный вес детали, кг	60	300	50
Радиальное и торцовое биение, мкм	<0,11	<0,5	<0,5
Габаритные размеры Д×Ш×В, мм	1560×600×1787	1580×1570×2200	1350×1015×2050

Т.к. машины схожи по своим точностным характеристикам, то выбор осуществляется по размерам устанавливаемой детали. Наибольший диаметр и расстояние между центрами у КИМ Klingelberg P40. Его подробные характеристики приведены в таблице 9, а сам прибор изображен на рисунке 55.

Таблица 9 – Характеристики прибора Klingelberg P40.

Макс.диаметр зубчатого колеса, мм	400	Предел допускаемой погрешности угла наклона линии зуба, мкм	3
Модуль, мм	0,5...15	Потребляемая мощность, кВт	1,5
Угол наклона профиля, град.	0...90	Размеры, мм	1610х 1570х 2215
Ширина колеса, мм	400	Макс.масса детали, кг	300
Предел допускаемой погрешности угла профиля зуба, мкм	2,5	Масса прибора, кг	1900
Предел допускаемой накопленной погрешности профиля зуба, мкм	3	Диапазон рабочих температур, °С	20±2
Предел допускаемой накопленной погрешности угла наклона линии зуба, мкм	4,5	Относительная влажность воздуха, %	40...60



Рисунок 55 – Klingelberg P40

Для контроля $\text{Ø}54,7^{+0,04}_{+0,01}$ применяется специальный калибр-пробка (рисунок 56).

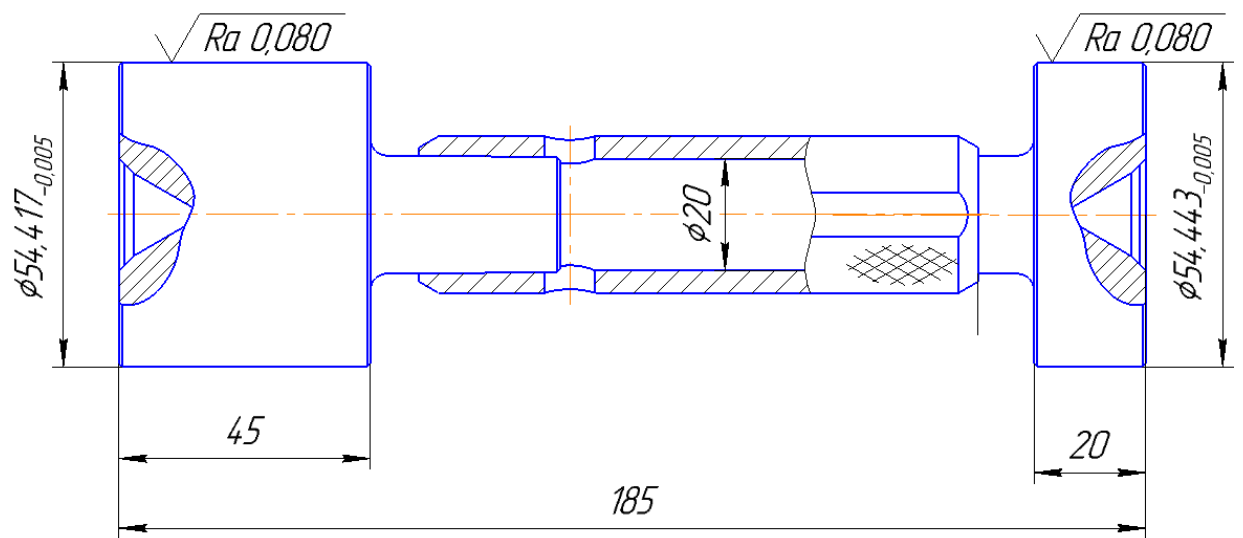


Рисунок 56 – Калибр-пробка

										Лист
										97
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	15.03.05.2017.413 ПЗ					

4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

4.1 Анализ возможных направлений по автоматизации технологического процесса изготовления детали

Главная цель автоматизации технологического процесса – это повышение производительности, а второстепенными являются повышение качества и надежности изготавливаемых изделий.

Для получения большей информации о возможности полной или частичной автоматизации, производится анализ проектного варианта технологического проекта.

4.1.1 Наличие в технологическом процессе слесарных, универсальных или специальных операций

Проектный вариант технологического процесса изготовления детали «Шестерня двойная» не содержит слесарных и специальных операций, но имеется универсальная операция – зубодолбежная, выполняемая на станке 5М150, выполнять ее на современном оборудовании с ЧПУ не целесообразно, т.к. станок полностью отвечает предъявляемым требованиям.

4.1.2 Возможность встраивания основного оборудования в ГПС

В проектном технологическом процессе для токарной обработки, а так же для нарезания большего зубчатого венца выбран многофункциональный обрабатывающий центр OKUMA MULTUS U3000, который имеет систему автоматической уборки стружки, датчики для наладки и диагностики работы оборудования и режущего инструмента. Для шлифования выбраны станки с ЧПУ OKAMOTO IGM-15NC (с возможностью обработки по программе с коррекцией позиций, автоматической правки круга, встроенной системой программирования), OKAMOTO 65DX (с возможностью работы в автоматическом цикле, оснащен контроллерами со встроенными циклами шлифования). Универсальный зубодолбежный станок (5М150) при необходимости можно оснастить контроллером и устройством для измерения линейных перемещений.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		98

4.1.3 Концентрация переходов на операциях механической обработки

Операции в проекте технологическом процесса максимально сконцентрированы, что позволяет сократить вспомогательное время на транспортировку и переустановку обрабатываемой детали, а также повышает точность обработки.

4.1.4 Габаритные размеры детали

Влияние на возможность автоматизации технологического процесса оказывают габаритные размеры детали (например, это один из параметров для возможности использования промышленного робота, применяемого для установки и перемещения заготовок/деталей).

Размеры детали: $\varnothing 165,2$ мм и длина 60 мм, вес 4,6 кг (заготовка $\varnothing 170$ мм, длиной 66 мм, весом 8,2 кг). Т.о. параметры детали позволяют перемещать и устанавливать ее как рабочему, так и роботу.

4.1.5 Наличие поверхностей для захвата

В качестве поверхностей для захвата выбираются наружные и внутренние цилиндрические поверхности. Наличие таких поверхностей определяет возможность использования вспомогательного оборудования для перемещения и установки детали на станок, а также помещения ее на склад.

Для перемещения детали «Шестерня двойная» можно применять вспомогательное оборудование, а поверхностью для захвата будет служить наружная цилиндрическая поверхность

В результате анализа выявлена возможность частичной автоматизации технологического процесса обработки детали «Шестерня двойная» за счет внедрения станков с ЧПУ для точения, зубофрезерования и шлифования, а так же за счет использования промышленных роботов для загрузки/разгрузки оборудования и перемещения на склад. Присутствие человека необходимо на операциях контроля (промежуточного и окончательного) и зубодолбления.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		99

4.2 Разработка структурной схемы гибкого производственного участка

Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) предназначена для хранения в накопителях деталей (межоперационные заделы), перемещения деталей между станками, позициями загрузки/разгрузки, а так же к месту контроля. АТСС может быть как с совмещенными, так и с отдельными транспортной и складской системами (ТС и СС соответственно).

4.2.1 Определение характеристик стеллажа-накопителя

Главная характеристика стеллажа-накопителя – вместимость. Максимальное число деталиустановок разных наименований, которые обрабатываются на комплексе в течение месяца, определяется по формуле:

$$K_{\text{наим}} = \frac{60 \cdot \Phi_{\text{ст}} \cdot n_{\text{ст}}}{t_{\text{об}} \cdot N}, \quad (92)$$

где $\Phi_{\text{ст}} = 305$ ч – фонд отдачи станка за месяц; $n_{\text{ст}} = 3$ – число станков, в ГПС; $t_{\text{об}}$ – средняя трудоемкость обработки одной деталиустановки, мин; N – программа выпуска деталей одного наименования за месяц.

Т.о. для каждого наименования детали подсчитывается число деталиустановок, которое для обеспечения нормальной работы ГПС увеличивается на запас в размере 10% от $K_{\text{наим}}$. Результаты расчета сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Число ячеек стеллажа-накопителя

Наименование	Расчетное число деталиустановок	Принятое с учетом запаса
Шестерня двойная	$K_{\text{наим.1}} = \frac{60 \cdot 305 \cdot 3}{41,556 \cdot 125} \approx 11$	11
Шестерня $m = 2,5$	$K_{\text{наим.2}} = \frac{60 \cdot 305 \cdot 3}{29,211 \cdot 67} \approx 29$	32
Блок шестерен	$K_{\text{наим.3}} = \frac{60 \cdot 305 \cdot 3}{51,488 \cdot 84} \approx 13$	14
Колесо зубчатое	$K_{\text{наим.4}} = \frac{60 \cdot 305 \cdot 3}{53,591 \cdot 75} \approx 14$	16
Итого		75

4.2.2 Расчет числа позиций загрузки и разгрузки

Необходимое число позиций загрузки и разгрузки определяется по формуле:

$$n_{\text{поз}} = \frac{t \cdot K_{\text{дет}}}{\Phi_{\text{поз}} \cdot 60'} \quad (93)$$

где $K_{\text{дет}}$ – число деталиустановок, которые проходят через позицию за месяц, шт.; t – средняя трудоемкость операций на позиции, мин; $\Phi_{\text{поз}} = \Phi_{\text{ст}} = 305$ ч – фонд времени работы позиции за месяц.

$$K_{\text{дет}} = K_{\text{наим}} \cdot N, \quad (94)$$

где N – средняя программа выпуска деталей одного наименования $K_{\text{наим}}$ в течении месяца, шт.

Для расчета возможно пользоваться следующими значениями трудоемкостей операций: загрузки $t_z = 5$ мин и разгрузки $t_p = 3$ мин. Т.к. операции выполняются на одной позиции, то $t = 8$ мин.

Расчеты для каждого наименования приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет числа позиций загрузки и разгрузки

Наименование	Число деталиустановок $K_{\text{дет}}$	Расчет необходимого числа позиций	Число позиций загрузки и разгрузки
Шестерня двойная	$11 \cdot 125 = 1625$	$\frac{8 \cdot 1625}{305 \cdot 60} = 0,6$	1
Шестерня $m = 2,5$	$32 \cdot 67 = 2144$	$\frac{8 \cdot 2144}{305 \cdot 60} = 0,94$	1
Блок шестерен	$14 \cdot 84 = 1176$	$\frac{8 \cdot 1176}{305 \cdot 60} = 0,51$	1
Колесо зубчатое	$16 \cdot 75 = 1200$	$\frac{8 \cdot 1200}{305 \cdot 60} = 0,52$	1

4.2.3 Расчет числа позиций контроля

Число позиций контроля $n_{\text{поз.к}}$ в ГПС определяется по следующей формуле:

$$n_{\text{поз.к}} = \frac{t_k \cdot K_{\text{дет.к}}}{\Phi_{\text{поз}} \cdot 60'} \quad (95)$$

где t_k – сумма времен контроля одной деталиустановки, мин; $K_{\text{дет.к}}$ – число деталиустановок, которые в течении месяца проходят контроль, шт.; $\Phi_{\text{поз}}$ – фонд времени работы позиции контроля за месяц, ч.

$$K_{\text{дет.к}} = \frac{K_{\text{дет}}}{n}, \quad (96)$$

где $K_{\text{дет}}$ – число деталиустановок, которые обрабатываются на комплексе в течении месяца, шт.; n – число деталиустановок, через которое деталь выводится на контроль, шт.:

$$n = \frac{n_1}{k_1 \cdot k_2}, \quad (97)$$

где $n_1 = 5 \dots 8$ – количество деталиустановок по плану, через которое деталь отбирается на контроль по требованию технолога, шт.; k_1 и k_2 – поправочные коэффициенты вывода деталей на контроль по требованию наладчика соответственно для первой деталиустановки вначале смены ($k_1 = 1,15$) и сразу же после установки нового инструмента ($k_2 = 1,05$).

Получается:

$$n = \frac{8}{1,15 \cdot 1,05} = 6,63 \approx 7;$$

$$K_{\text{дет.к}} = \frac{350}{7} = 50.$$

Время контроля одной деталиустановки:

$$t_k = t_{k1} + t_{k2} + \dots + t_{ki}, \quad (98)$$

где $t_{k1}, t_{k2}, \dots, t_{ki}$ – соответственно время контроля поверхностей детали после обработки на 1, 2 и т.д. i -м станках комплекса.

Для определения времени каждого промежуточного контроля (после неокончательной обработки на оборудовании ГПС) можно принять равным $t_{\text{п}} = 5$ мин., а время окончательного контроля всех поверхностей детали $t_{\text{к.ок}} = 30$ мин.

Тогда:

$$t_k = 5 + 30 = 35 \text{ мин};$$

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		102

$$n_{\text{поз.к}} = \frac{35 \cdot 50}{305 \cdot 60} = 0,1 \approx 1.$$

4.2.4 Проектирование предварительной компоновочной схемы ГПС

Для расчета времени перемещения заготовок, числа транспортных механизмов производится компоновка ГПС. Ниже представлены два варианта компоновок.

Вариант 1. Предварительная компоновка приведена на рисунке 57. Транспортирование со стеллажей на участки механической обработки и обратно, а также между участками осуществляется робокаром. К преимуществам можно отнести то, что в нужную точку можно прибыть несколькими путями, недостатком является необходимость зарядки робокара. Граф перемещений робокара (кратчайший путь) приведен на рисунке 58. Матрица перемещения деталиустановок, которая позволяет вычислить их суммарное перемещение, представлена в таблице 12. Т.о. это перемещение равно 54,4 м.

Вариант 2. Оборудование расставлено по ходу выполнения технологического процесса, предварительная компоновка изображена на рисунке 59. Перемещение заготовок производится краном-штабелером, который не требует периодической зарядки, но обладает меньшей путевой гибкостью. Граф перемещений показан на рисунке 60. Матрица перемещений приведена в таблице 13, из нее определен путь деталиустановок, равный 31,5 м. По результатам расчетов перемещений выбирается второй вариант ГПС.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		103

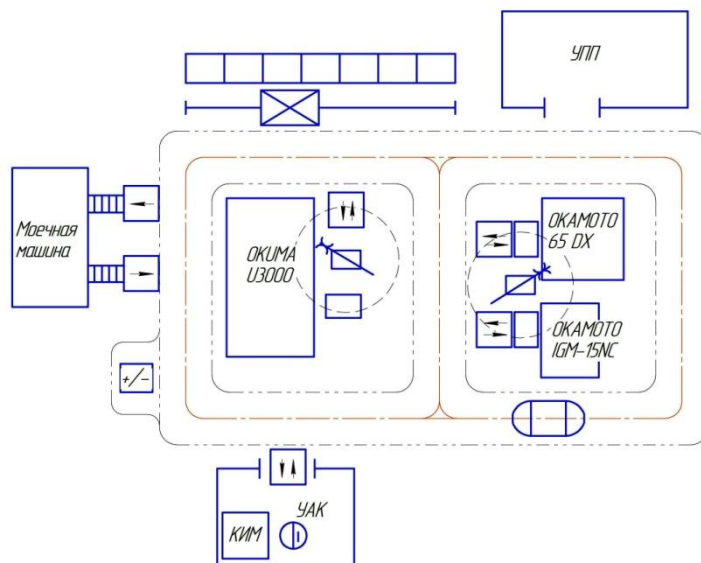


Рисунок 57 – 1-й вариант предварительной компоновки ГПС

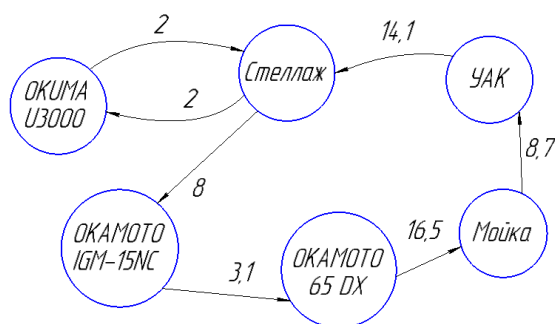


Рисунок 58 – Граф перемещений робокара

Таблица 12 – Матрица перемещений деталиустановок при реализации 1-ой схемы ГПС

Оборудование, к которому движется транспортное средство	Оборудование от которого движется транспортное средство					
	OKUMA U3000	OKAMOTO IGM-15NC	OKAMOTO 65 DX	Мойка	УАК	Стеллаж
Расстояние, пройденное транспортным средством						
OKUMA U3000	–	–	–	–	–	2
OKAMOTO IGM-15NC	–	–	–	–	–	8
OKAMOTO 65 DX	–	3,1	–	–	–	–
Мойка	–	–	16,5	–	–	–
УАК	–	–	–	8,7	–	–
Стеллаж	2	–	–	–	14,1	–

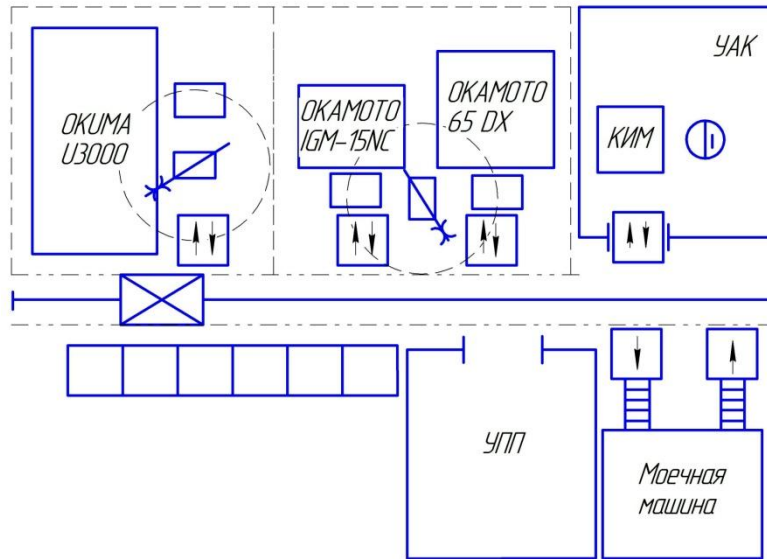


Рисунок 59 – 2-й вариант компоновки ГПС

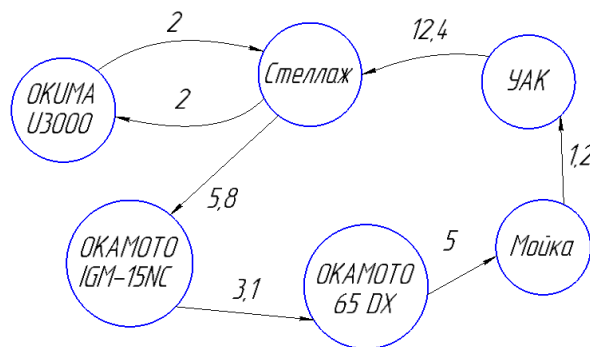


Рисунок 60 – Граф перемещений крана-штабелера

Таблица 13 – Матрица перемещений деталиустановок при реализации 2-ой схемы ГПС

Оборудование, к которому движется транспортное средство	Оборудование от которого движется транспортное средство					
	OKUMA U3000	OKAMOTO IGM-15NC	OKAMOTO 65 DX	Мойка	УАК	Стеллаж
Расстояние, пройденное транспортным средством						
OKUMA U3000	–	–	–	–	–	2
OKAMOTO IGM-15NC	–	–	–	–	–	5,8
OKAMOTO 65 DX	–	3,1	–	–	–	–
Мойка	–	–	5	–	–	–
УАК	–	–	–	1,2	–	–
Стеллаж	2	–	–	–	12,4	–

4.2.5 Определение числа подвижных транспортных механизмов АТСС

Расчет числа транспортных механизмов, расположенных со стороны станков

Робот-штабелер, должен передавать ящик с заготовками со стеллажа на станок, между станками и со станка на стеллаж.

Суммарное время $T_{\text{обсл}}$ работы робота со стороны станков:

$$T_{\text{обсл}} = K_{\text{стел-ст}} \cdot t_{\text{стел-ст}} + K_{\text{ст-ст}} \cdot t_{\text{ст-ст}}, \quad (99)$$

где $K_{\text{ст-ст}}$ – число перемещений между станками; $K_{\text{стел-ст}}$ – количество перемещений стеллаж-станок; $t_{\text{стел-ст}}$ – среднее время, которое необходимо для передачи заготовки со стеллажа на станок и со станка на стеллаж, мин; $t_{\text{ст-ст}}$ – среднее время, необходимое для передачи спутника (в рассматриваемом случае накопителя) со станка на станок, мин.

Робот-штабелер передает спутник за время, определяемое по формуле:

$$t_{\text{стел-ст}} = t_{\text{ст-ст}} = t_1 + t_2, \quad (100)$$

где t_1 – время подхода и взятия спутника, мин; t_2 – время для подхода и установки спутника мин.

$$t_1 = t_k + t_{\text{под}} + t_{\text{в.с}}, \quad (101)$$

$$t_2 = t_k + t_{\text{под}} + t_{\text{п.с}}, \quad (102)$$

где t_k – время для передачи команды от системы управления устройству ЧПУ штабелера, мин; $t_{\text{под}}$ – время, требуемое для подхода штабелера к нужной точке, мин; $t_{\text{в.с}}$ – время по выполнению команды «взять спутник», мин; $t_{\text{п.с}}$ – время работы выполнению команды «установить спутник», мин. Время t_k колеблется в пределах $t_k = 1,5 \dots 10$ с; время $t_{\text{в.с}} = t_{\text{п.с}} = 0,15 \dots 0,25$ мин. Время подхода штабелера к нужной точке:

$$t_{\text{под}} = \frac{L_x}{V_x} + \frac{L_y}{V_y}, \quad (103)$$

где L_x и L_y – длины перемещений штабелера по осям X и Y соответственно, м;
 V_x и V_y – скорость его перемещения по осям X и Y, м/мин. При расчете принимается $V_x = 60$ м/мин, $V_y = 6$ м/мин, $L_x = 1$ м, $L_y = 1$ м. Тогда:

$$t_{\text{под}} = \frac{1}{60} + \frac{1}{6} = 0,183 \text{ мин};$$

$$t_1 = t_2 = 0,16 + 0,183 + 0,2 = 0,6 \text{ мин};$$

$$t_{\text{стел-ст}} = t_{\text{ст-ст}} = 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мин};$$

$$T_{\text{обсл}} = 4 \cdot 1,2 + 1 \cdot 1,2 = 6 \text{ мин.}$$

Количество штабелеров, необходимых для выполнения работы:

$$K_{\text{шт.1}} = \frac{T_{\text{обсл}}}{\Phi_{\text{шт}} \cdot 60}, \quad (104)$$

где $\Phi_{\text{шт}}$ 350 ч – фонд работы штабелера.

Получается:

$$K_{\text{шт1}} = \frac{6}{305 \cdot 60} = 0,0003 \approx 1.$$

Таким образом, для выполнения работ требуется один робот-штабелер.

4.3 Выбор оборудования для функционирования автоматизированной системы (промышленные роботы, накопителя, транспортные системы, складские системы)

Автоматизация установки со станков деталей типа «тела вращения» рекомендуется внедрение промышленных роботов, а для базирования – многоместные накопители. Для обслуживания станков (т.е. установки заготовок на станок, снятия их и помещения на паллеты) выбирается промышленный робот FANUC M-20iA, изображенный на рисунке 61.

									Лист
									107
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				15.03.05.2017.413 ПЗ	

Рисунок 61 – Промышленный робот FANUC M-20iA

Шестиосевой робот с большой рабочей зоной обеспечивает высокую скорость захвата и перемещения объектов. Технические характеристики приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики промышленного робота FANUC M-20iA

Параметр	Показатель
Управляемых осей	6
Грузоподъемность кисти, кг	20
Точность позиционирования, мм	$\pm 0,08$
Полезная нагрузка, кг	250
Радиус досягаемости, мм	1811

Для захвата детали «Шестерня двойная» необходим схват, поверхность для базирования – наружная цилиндрическая поверхность. Эскиз схвата приведен на рисунке 62.

Рисунок 62 – Схват промышленного робота

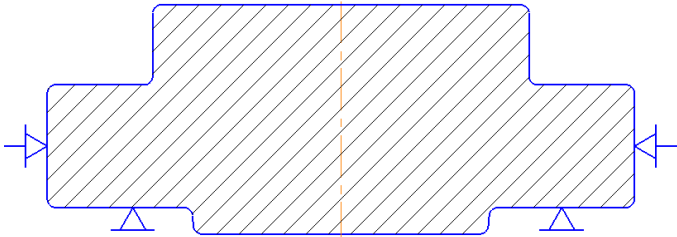
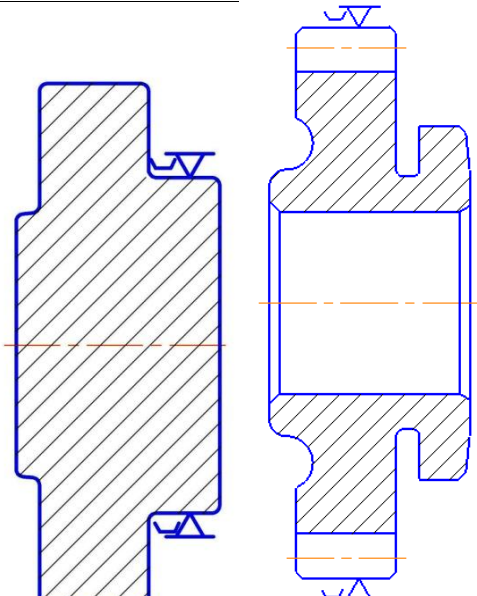
4.4 Базирование заготовки, полуфабриката, готовой детали в промышленном роботе, транспортном устройстве, промежуточном накопителе

Заготовки к оборудованию перемещаются при помощи крана-штабелера на накопителях, где они не имеют четкой ориентации (т.е. расположены хаотично), далее уже робот перемещает заготовку на

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		109

устройство для предварительного базирования, где заготовке придается определенное положение. Такой процесс справедлив для всех перемещений по проектируемой ГПС. Базирование же непосредственно на станке происходит по-разному. Так для установка А на комплексной операции с ЧПУ (005), а также для шлифовальной операции с ЧПУ (030), после вышеперечисленных манипуляций робот хватается за цилиндрическую поверхность меньшего диаметра и перемещает заготовку до станочного приспособления, а именно трехкулачкового патрона. После окончания обработки на операции 005 робот хватается уже за больший диаметр заготовки и уводит ее из зоны обработки. На последней операции механической обработки (035 шлифовальная с ЧПУ) заготовка устанавливается на магнитный стол. Схемы базирования для всех случаев приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Схемы базирования

Операция	Схема базирования
В устройстве для предварительного базирования	
В схвате промышленного робота до и после обработки на комплексной операции с ЧПУ (005)	

005 Комплексная с ЧПУ Установ А и Установ Б соответственно	
030 Шлифовальная с ЧПУ В схвате промышленного робота и в трехкулачковом патроне соответственно	
035 Шлифовальная с ЧПУ В схвате промышленного робота и на операции соответственно	

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		111

4.5 Анализ производительности автоматизированной системы

Разработано два варианта структурных схем гибкого производственного участка, каждая имеет свои достоинства и недостатки. Так первая схема обладает большей маршрутной гибкостью, но необходимо предусмотреть временные заделы для зарядки робокара, кроме того, тяжелее осуществить перемещение робокара (т.к. этот процесс трудоемок), так же к недостаткам относится его стоимость. Вторая схема менее гибкая, зато более универсальная.

Главным критерием выбора схемы является путь, который преодолевает заготовка. В первом случае путь составляет 54.4 м, во втором случае – 31,5 м.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		112

5 ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЧАСТЬ

Разработана планировка участка механической обработки, который встроен в основной цех.

В соответствии с нормами строительного проектирования, а так же с учетом применения мостового крана, разработана сетка колонн с шагом 12 м, шириной пролета 18 м, на которую в соответствующем масштабе перенесен спроектированный гибкий производственный участок. Так же выполнен вид разреза здания, где указаны основные размеры, схематично показан самый высокий станок и применяемый мостовой кран. Выбран мостовой двухбалочный опорный кран с электроприводом и максимальной грузоподъемностью 20 и 5 тонн (в зависимости от режима работы), который производится на заводе «Элеватормельмаш». Размеры и общий вид приведены на рисунке 63.

Рисунок 63 – Кран мостовой двухбалочный опорный

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		113

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

6.1 Мероприятия и средства по созданию безопасных и безвредных условий труда

Опасность на производственном участке представляют различные движущиеся и вращающиеся механизмы, стружка, режущий инструмент. Существует ряд нормативных документов, в которых указаны требования безопасности:

- ГОСТ 12.2.009-99 «Станки металлообрабатывающие. Общий требования безопасности»;
- ГОСТ 12.3.025-80 «Система стандартов безопасности труда. Обработка металлов резанием. Требования безопасности»;
- ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Требования безопасности»;
- ГОСТ Р 51140-98 «Инструмент металлорежущий. Требования безопасности и методы испытаний».

Мероприятия по обеспечению безопасности:

- своевременное обслуживание и ремонт оборудования;
- применение различных предупреждающих знаков оповещающих систем (в том числе световых и звуковых), нанесение разметок;
- защита электрических проводов изоляцией и защитными устройствами, отведение их рабочей зоны;
- применение различных ограждений, экранов и кожухов;
- оснащение станков устройствами сбора и отвода стружки;
- оснащение столов тормозными устройствами;
- применение систем блокировок и предохранителей (открытия/закрытия дверей станка и т.п.);
- контроль за состоянием режущего инструмента;
- обеспечение рабочих средствами индивидуальной защиты.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		114

Проводятся инструктажи по охране труда. Инструктажи по охране труда по характеру и времени проведения подразделяются на:

- вводный (при приеме на работу);
- первичный на рабочем месте;
- повторный;
- внеплановый;
- целевой.

Вредный фактор рабочей среды – фактор рабочей среды и трудового процесса, воздействие которого на работника может вызывать профессиональное заболевание или другое нарушение состояние здоровья, повреждение здоровья потомства [29, с.19].

К вредным факторам рабочей среды относятся:

- неблагоприятные метеорологические условия;
- запыленность и загазованность воздушной среды;
- воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации;
- наличие электромагнитных полей, лазерного и ионизирующего излучений и др.

В зависимости от количественной характеристики и продолжительности действия отдельные вредные факторы рабочей среды могут стать опасными.

Микроклимат. Нормируемые параметры микроклимата: температура воздуха и поверхностей, влажность воздуха, а так же скорость движения воздуха. Все показатели должны соответствовать СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». Так, например, параметры микроклимата в помещениях, где выполняются работы, соответствующие категории работ Пб (физические работы средней тяжести, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением – ряд профессий машиностроительных предприятий), приведены в таблице 16.

Установленные нормы обеспечиваются:

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		115

- вентиляцией и кондиционированием (теплое время);
- вентиляцией и системой отопления (холодное время);
- установкой тепелозащитных экранов.

Вибрации и шум нормируются в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16.

Таблица 16. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Пб (233–290)	17–19	16–20	60–40	0,2
Теплый	Пб (233–290)	19–21	18–22	60–40	0,2

6.2 Мероприятия по электробезопасности

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного и вредного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и электростатических разрядов [30].

Мероприятия по электробезопасности:

- обеспечение работников индивидуальными средствами защиты, подставками из диэлектрических материалов (резины, дерева и др.);
- обеспечение недоступности токопроводящих каналов случайным прикосновениям;
- применение дополнительной изоляции;
- обеспечение защитного заземления – преднамеренного соединения с землёй (или ее эквивалентом) металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением;

- применение защитного зануления – это металлической части электроустановок с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока;

- внедрение защитного отключения, которое обеспечивает быстрое отключение поврежденной электроустановки.

Мероприятия, организационного характера:

- проведение инструктажей;
- контроль исправности токопроводящих элементов;
- запрещение ремонта кому-либо из работников, кроме лиц электротехнического персонала;
- применение различных указательных знаков и надписей.

6.3 Мероприятия по пожарной безопасности

Пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей.

На участках должны быть размещены первичные средства пожаротушения, такие как:

- огнетушители;
- ящики с песком;
- ломы, топоры.

Мероприятия:

- устранении возможных причин пожаров;
- контролировании состояния проводки, средств тушения, хранения легковоспламеняющихся веществ;
- ограничение возможности распространения пожара;
- проведение учебных эвакуаций;
- проведение инструктажей;
- размещения на территории наглядной информации о причинах возникновения пожаров и порядке действий при возникновении пожара;

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		117

- нанесение знаков, указывающих направление движения;
- размещения кнопок, а так же противопожарной сигнализации.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		118

7 ВЫВОДЫ ПО КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

В общей части рассмотрены назначение детали, условия эксплуатации, сформулированы цели и задачи выпускной квалификационной работы. Цель – проектирование участка механической обработки детали, удовлетворяющего требованиям современного автоматизированного производства, с разработкой конструкторско-технологического обеспечения.

В технологической части произведен анализ действующего технологического процесса обработки детали и оборудования, а результате которого были выявлены недостатки в оформлении технологической документации, использование специальных измерительных инструментов и применение старого универсального оборудования влечет за собой увеличения числа операций. Размерно-точностной анализ выявил возможность появления брака. В проектном варианте технологического процесса учтены все недочеты, сокращено время на обработку детали (в базовом 122,1 мин, в проектном 62,433 мин), применено новое оборудование.

В конструкторской части произведен выбор универсальной технологической оснастки, стандартный режущий инструмент, измерительное оборудование, однако конструкция детали требует применение специального инструмента и станочного приспособления, поэтому произведен расчет долбяка, червячной фрезы и механизированного станочного приспособления для зубодолбления.

Автоматизация технологического процесса включает в себя разработку гибкого автоматизированного участка, отслуживаемого краном-штабелером, подбором промышленного робота.

В организационно-производственной части разработана планировка участка механической обработки.

Безопасность технологического цикла включает в себя различные мероприятия по обеспечения безопасности жизнедеятельности рабочих.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		119

Таким образом, в ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены все поставленные задачи, цель достигнута. Полученный в процессе выполнения работы навыки необходимы для дальнейшей работы по специальности.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		120

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1) Маликов, А.А. Прогрессивная технология получения заготовок цилиндрических зубчатых колес с оформленными зубьями. Журнал «Известия Тульского государственного университета. Технические науки» №1/2008. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/progressivnaya-tehnologiya-polucheniya-zagotovok-tsilindricheskih-zubchatyh-koles-s-oformlennymi-zubyami>.

2) Лещинский Д.Ю. Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник»: Исследование технологий получения и обработки заготовок деталей транспортных средств / Смирнов А.А., Ягубова Е.В// Издатель ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» # 08, август 2014 – chrome-extension://ecnphlgnajanjnkcmbrancdjoidceilk/content/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fengsi.ru%2Ffile%2Fout%2F722736.

3) URL: https://okuma-russia.ru/stanki_multus.htm – каталог продукции компании OKUMA.

4) URL: http://stanki-katalog.ru/sprav_5m150.htm – каталог Клинского станкостроительного завода КСЗ.

5) URL: <https://pumori-invest.ru/o-kompanii/> – каталог компании ПУМОРИ-ИНЖИНИРИНГ ИНВЕСТ.

6) Кулыгин В.Л. Технология машиностроения: учебное пособие / В.Л. Кулыгин, В.И. Гузеев, И.А. Кулыгина. – Челябинск: Из-во ЮУрГУ, 2008. – Ч.1. – 93 с.

7) Шамин, В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей: электронное учебное пособие. – 5-е изд., перер. и доп. / В.Ю. Шамин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 530 с.

8) URL: <http://www.smw-autoblok.ru/files/prez/KNCS.PDF> – каталог компании AUTOBLOK.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		121

9) URL: <http://pramet-tools.ru/doc/pramet-katalog-tokarnaya-obrabotka-2014.html> – каталог производителя режущего инструмента PRAMET.

10) URL: <http://www.spec-prom.ru/upload/iblock/cb4/cb456c5bc3d22-64261f3eb421d26d6e4.pdf> – каталог компании KINTEK.

11) URL: <http://instrtp.ru/d/219012/d/instrumentalnayaosnastka2011.pdf> – Каталог инструментальной оснастки компании PRAMET.

12) Кирсанов, Г.Н. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: Учебное пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» /О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой, В.А. Гречишников. Под общ.ред. Г.Н. Кирсанова – М.: Машиностроение, 1986. – 228 с.

13) Режущий инструмент. Курсовое и дипломное проектирование. Учебное пособие. / Под ред. Е.Э. Фельдштейна. – Мн.: Дизайн ПРО, 2002. – 320 с., ил.

14) Рыков, С.П. Проектирование металлорежущего инструмента: учебное пособие / С.П. Рыков, А.Г. Схиртладзе, В.Л. Хренов. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2008. – 140 с.

15) Романов, В.Ф. Расчеты зуборезных инструментов / В.Ф. Романов – М.: Машиностроение, 1969. – 251 с.

16) Гаврилов, Ю.В. Долбяки: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования / Ю.В. Гаврилов, Н.П. Крупина. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2006. –57 с.

17) Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М.: Экономика, 1990. – 473 с.

18) Кащук, В.А. Справочник шлифовщика / В.А. Кащук, А.Б. Верещагин – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.

19) Гришин, Р.Г. Нормирование станочных работ. Определение вспомогательного времени при механической обработке деталей: учебное пособие / Р.Г. Гришин, Н.В. Лысенко, Н.В. Носов.– Самара 2008. – 143 с.

20) Сильвестров, Б.Н. Справочник молодого зуборезчика. Под ред. Е.Б. Коноплева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1988. – 230 с.

21) Орлов, П.Н. Краткий справочник металлиста / П.Н. Орлов, Е.А. Скороходов. –М.: Машиностроение, 1986. – 960 с.

22) Тихонов, А.П. Технология машиностроения / А.П. Тихонов, М.А. Заславский. – М.: МАШГИЗ, 1962.

23) URL: <http://www.tehno-ts.com/ru/7/3%D0%9C%D0%B5%D1%80-%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C/MAHR/MAHR.pdf> – каталог измерительного инструмента и линейно-угловых размеров компании Mahr.

24) ГОСТ 2216-84 «Калибры-скобы гладкие регулируемые».

25) URL: http://finval.ru/upload/uf/4b2/zuboobrabatyvauschee_oborudovanie_2015.pdf – каталог измерительных приборов Klingelnberg.

26) Боровик, С.И. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие с элементами самостоятельной работы студентов / С.И. Боровик, Л.М. Киселева, А.В. Кудряшов и др; под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – Ч. I. – 247 с.

27) URL: <http://www.tespaindia.com/pdf/GearTec-WGT-Brochure.pdf> – каталог фирмы WENZEL.

28) URL: <http://technopolice.ru/wp-content/uploads/2016/09/MarGear-GMX-600-catalog.pdf> – каталог КИМ фирмы Math.

29) Электротехнический справочник. Общие вопросы. Электротехнические материалы. Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. — 6-е изд., испр. и доп. — М.: Энергия, 1980. — 520 с.

					15.03.05.2017.413 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		123