МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование)

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Технология машиностроения
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс изготовления вала волновода

Обучающийся С.П. Борисов
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Руководитель канд. техн. наук, доцент А.В. Зотов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты А.Н. Кирюшкина
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

М.А. Кривова
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологического процесса изготовления вала волновода, входящего в конструкцию устройства для ультразвуковой сварки полимерных материалов. Заданный в исходных данных объем выпуска – 10000 деталей в год – определяет тип производства как среднесерийный. Анализ исходных требований включал в себя разработку 3D-модели и рабочей документации со всеми необходимыми конструктивными и техническими требованиями.

Особенностью детали является материал – высокопрочный титановый сплав ВТ-3-1, обладающий сложными технологическими свойствами. Это приводит к значительным нагрузкам на режущий инструмент и снижению точности обработки. С учетом результатов анализа технологичности предлагается выбрать в качестве заготовки прокат из титанового прутка.

Обработка выполняется на токарном универсальном станке с ЧПУ, что обеспечивает возможность обработки детали по контуру в двух вариантах установки: с поджатием задним центром и по консольной схеме. Дополнительная операция фрезерования выносится на отдельный станок. Особенностью токарной операции является изготовление фасонных рабочих поверхностей с использованием мелкоразмерного режущего инструмента.

Для выполнения данного перехода спроектировано станочное приспособление в виде патрона и предложена конструкция цельного режущего инструмента, обеспечивающая необходимую стойкость, точность и качество обработки. Предусматриваются необходимые защитные мероприятия для исключения воздействия вредных и опасных производственных факторов на разработанном технологическом процессе изготовления вала волновода из титанового сплава.

Предлагаемые изменения конструкции инструмента подтверждаются экономическими расчетами. Вся необходимая технологическая и конструкторская документация дополнительно приведена в приложении.

Содержание

Введение 4
1 Анализ исходных данных 5
1.1 Выбор материала 5
1.2 Назначение и условия работы детали 8
1.3 Анализ требований к поверхностям детали 9
1.4 Цель и задачи 11
2 Технологическая часть 12
2.1 Определение типа производства 12
2.2 Выбор стратегии разработки техпроцесса 12
2.3 Базовая технология изготовления волновода 13
2.4 Выбор метода получения заготовки 22
2.5 Выбор методов обработки 24
2.6 Расчет припусков 29
2.7 Расчет режимов резания 30
2.8 Рекомендации по проектируемой технологии 35
3 Проектирование оснастки 36
3.1 Общие сведения 36
3.2 Проектирование приспособления 36
3.3 Проектирование инструмента 42
4 Безопасность и экологичность процесса 44
5 Экономическая эффективность работы 47
Заключение 50
Список используемой литературы и источников 51
Приложение А Технологические карты 54
Приложение Б Спецификация приспособления 58
Приложение В Спецификация резца фигурного 60
Приложение Г Спецификация резца канавочного 61

Введение

В настоящее время понятие "ультразвук" выходит за рамки простого обозначения высокочастотных акустических волн и широко применяется в различных областях, включая промышленность, медицину, биологию и физику. Научное развитие в этой области значительно ускорилось за последние десятилетия, благодаря прогрессу в акустике (линейная, квантовая), физике твёрдого тела и электронике. Появление надежных средств излучения и приема акустических волн позволило повысить мощность ультразвука и расширить диапазон частот. Главной особенностью современного ультразвука является многообразие его применения, охватывающее диапазон от слышимого звука до предельно высоких частот.

Особенно широко применяется ультразвук в различных отраслях промышленности благодаря своим уникальным свойствам. Микроэлектроника и приборостроение применяют ультразвук для прецизионной обработки деталей, где требуется высокая точность и минимальное воздействие на материал. В металлургии он используется для воздействия на расплавленный металл, изменяя его структуру и свойства. В химии ультразвук служит для фиксации малейших изменений в химическом составе вещества, что позволяет контролировать и анализировать различные реакции. Акустоэлектроника использует ультразвук для обработки электрических сигналов, преобразуя их в звуковые волны, а затем обратно, что находит применение в различных электронных устройствах. В акустооптике ультразвук, напротив, применяется для обработки световых сигналов, позволяя контролировать и изменять характеристики света.

Наконец, ультразвуковая сварка является эффективным методом соединения полимерных материалов, металлов и сплавов, широко применяемым в промышленности благодаря своей скорости и надежности. Главным элементом этих систем является волновод для передачи энергии колебаний от генератора в рабочую зону.

1 Анализ исходных данных

1.1 Выбор материала

Критически важным параметром для волноводов, передающих ультразвуковые колебания от привода в рабочую зону, является материал. Базовым материалом является титановый сплав.

Разработаны на уровне изобретения методы выбора таких сплавов для волноводов. Они основаны на определении механических и физических свойств титановых сплавов для оценки их пригодности в качестве ультразвуковых волноводов. Существующий интегральный метод оценки структуры материала по амплитуде рабочего сигнала ультразвука не позволяет определить структуру титановых сплавов и степень их пригодности для волноводов. Исследования сплава ВТ-3 показали, что ультрамелкозернистая структура (УМЗ) повышает прочность и акустические свойства, но уменьшает резонансную частоту волновода. Однако, результаты получены только для одного сплава, и неясно, какие типы сплавов наиболее пригодны. Другие исследования указывают, что УМЗ-структура (зерна менее 1 мкм) повышает прочность, но снижает термостабильность, ударную вязкость и трещиностойкость, а также повышает чувствительность к концентраторам напряжений и порообразованию. Эти недостатки делают УМЗ-сплавы неоптимальными для ультразвуковых волноводов, требующих высокой трещиностойкости и устойчивости к порообразованию при циклических нагрузках. Также известно, что титановые сплавы обладают анизотропией свойств: предел текучести ниже у образцов, ориентированных поперек прокатки, а предел прочности - выше.

Исследования выявили анизотропию не только механических, но и акустических свойств титановых сплавов, проявляющуюся в различной скорости звука в перпендикулярных направлениях. Разрушение волноводов при ультразвуковой сварке происходит из-за усталости, вызванной

циклическими пиковыми нагрузками, приводящими к вмятинам и привариванию материала к инструменту.

Ремонт волноводов сложен из-за их интеграции в узел с точно рассчитанной рабочей частотой. Поэтому, титановый сплав для волноводов должен обладать не только высокими механическими, но и стабильными, отвечающими определенным требованиям, акустическими свойствами.

Базовой методикой являются исследования, определяющие применимость титановых сплавов сочетанием механических, физических и металлографических методов. Однако, сплавы, подходящие для имплантатов, с низкой плотностью и модулем упругости, не подходят для волноводов.

Для сплавов с химическим составом по рисунку 1 приведены результаты измерений на рисунке 2.

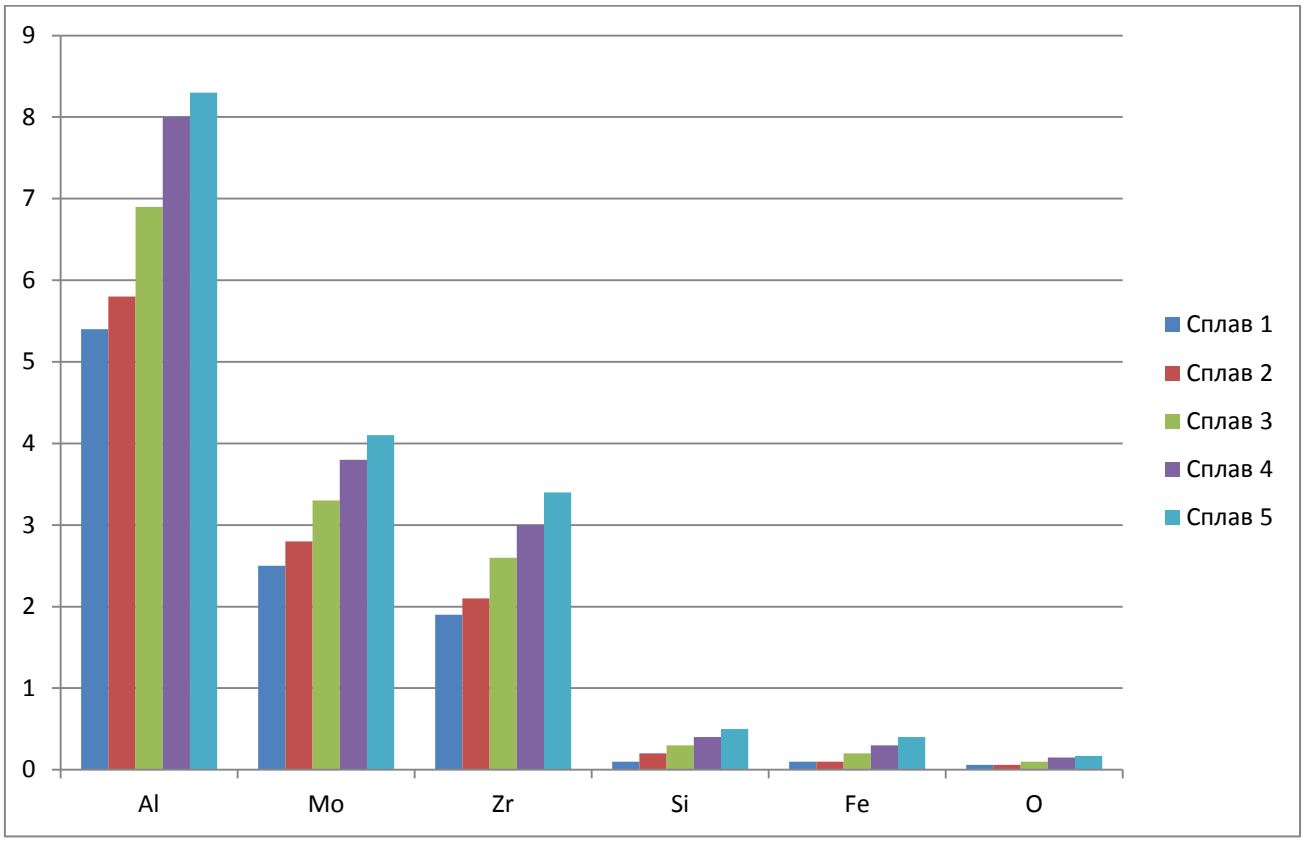


Рисунок 1 – Химический состав титановых сплавов

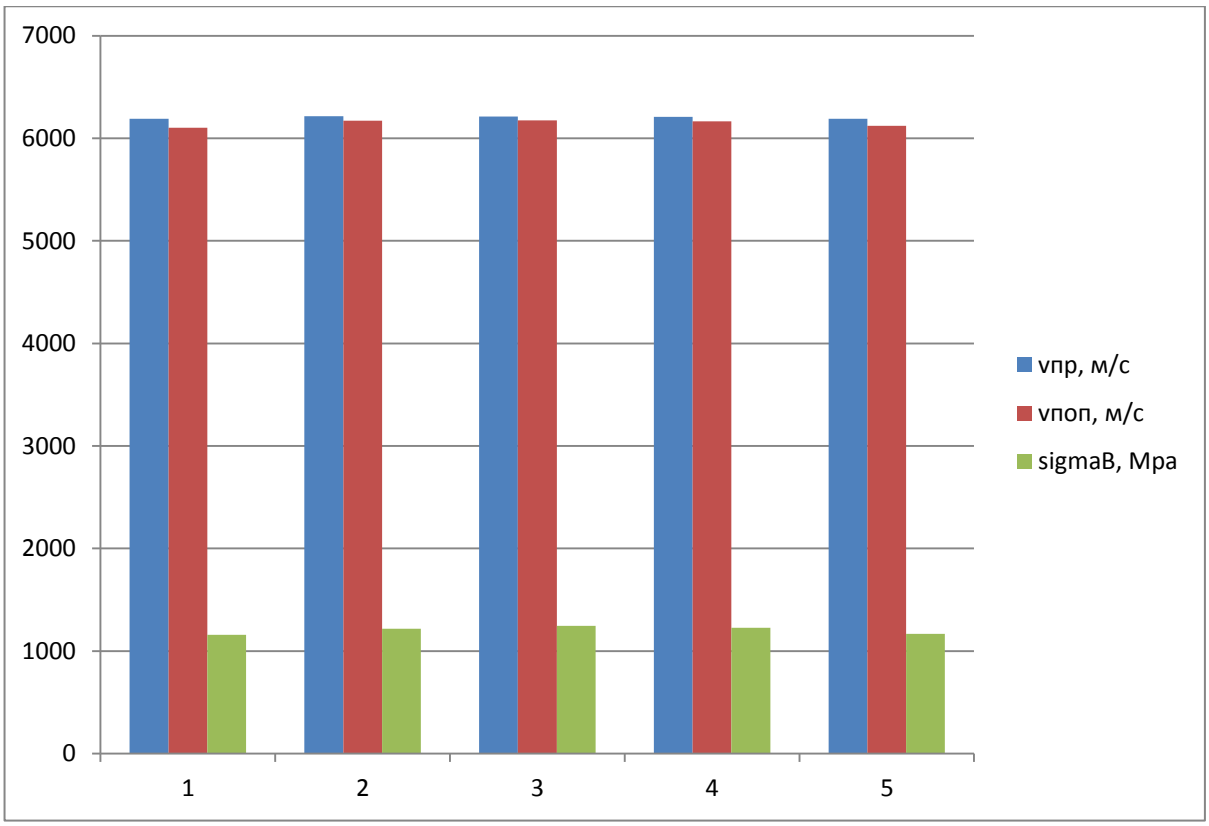


Рисунок 2 – Результаты измерений по скорости звука и прочности

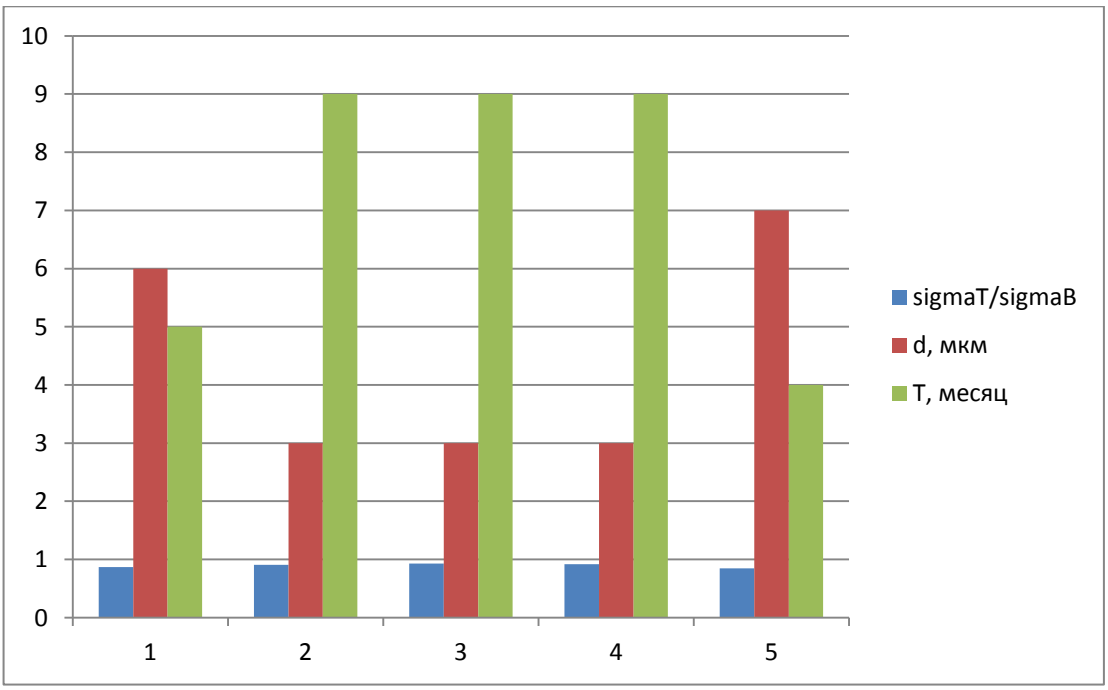


Рисунок 3 – Результаты измерений по текучести, зернистости и ресурсу

Обоснование выбора рационального сочетания физико-механических свойств и структуры титанового сплава для волноводов с целью повышения их работоспособности достигается выбором сплава, удовлетворяющего следующим требованиям: предел прочности не менее 1200 МПа; отношение предела текучести к пределу прочности 0,9-0,95; скорость звука не менее 6150 м/с в обоих перпендикулярных направлениях с различием не более 50 м/с; мелкодисперсная микроструктура с размером зерна 0,5-5,0 мкм, содержащая равноосную α-фазу (40-80%) в трансформированной β-матрице без непрерывной сети α-фазы на границах β зерен. При этом, одно из направлений измерения скорости звука совпадает с направлением прокатки сплава [13].

С учетом указанных свойств, принимаем в качестве материала вала волновода сплав ВТ3-1.

1.2 Назначение и условия работы детали

Назначение вала волновода – передача энергии колебаний от привода колебаний (магнитострикторр) в зону сварки [7].

Основной рабочей характеристикой волновода является резонансная частота. Она должна быть определена с высокой точностью для того, чтобы можно было задавать эту частоту генератором электрических колебаний. При этом будет обеспечиваться резонансное увеличение амплитуды рабочей части. Это соответствует максимальному коэффициенту полезного действия сварочной установки. Эта резонансная частота сильно зависит от геометрических параметров деталей. В случае несоблюдения конструкторских допусков резонансная частота будет смещаться, что приведет к снижению эффективности технологической операции сварки, для которой этот волновод предназначен.

Чертежы-схемы вариантов волноводов представлен на рисунке 4.

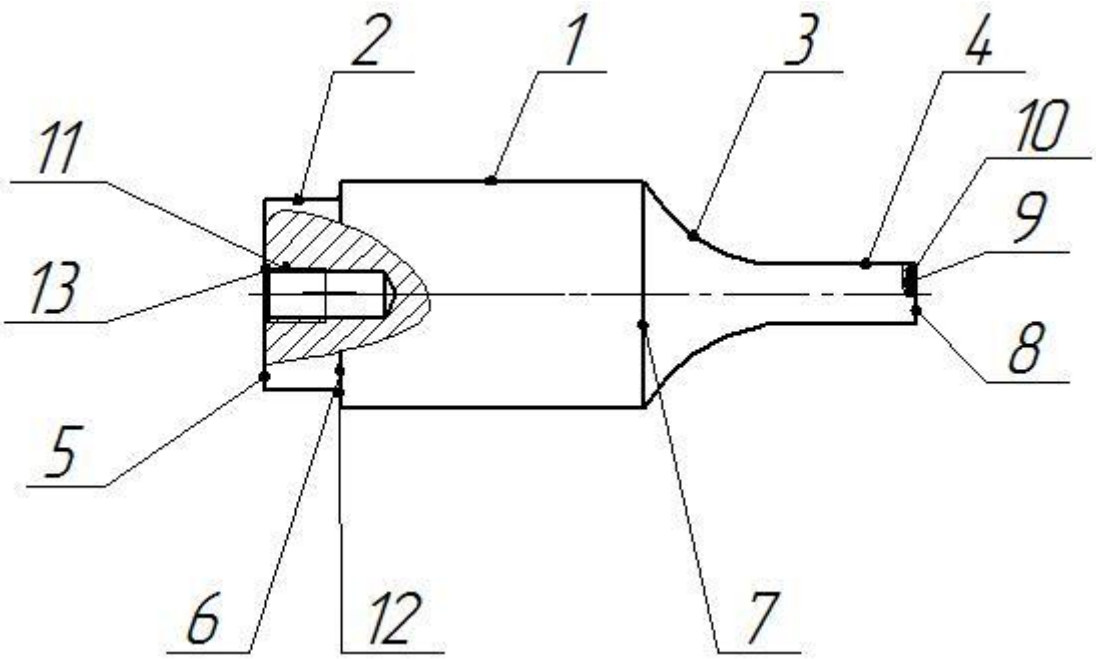


Рисунок 4 – Эскиз волновода

На нем есть посадочные места (2 и 12), которые относятся к основным конструкторским базам.

Резьба 13 является вспомогательной базой, но служит для фиксации волновода.

Рабочими исполнительными поверхностями являются волноводная часть 1, 2 и 4 с непосредственно рабочими поверхностями 8, 9, которые и передают энергию колебаний в рабочую зону.

Все другие поверхности (5, 6, 13) – свободные.

Условия работы – динамические, теплонапряженные.

1.3 Анализ требований к поверхностям детали

С точки зрения изготовления деталь (рисунок 5) является не технологичной по нескольким причинам.

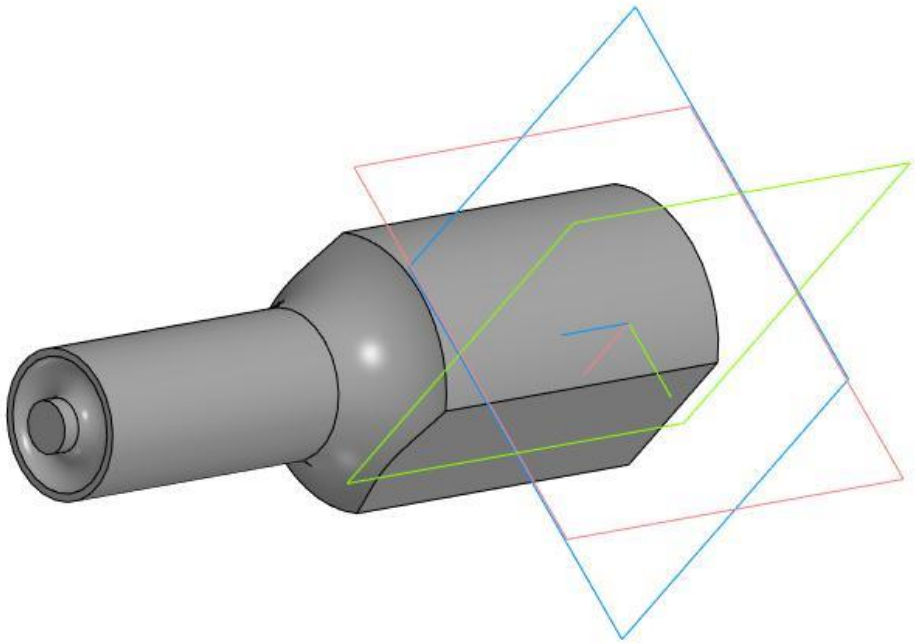


Рисунок 6 – Модель волновода

Первая - это выбор материала. Для изготовления используется титановый сплав ВТ3-1, который характеризуется плохим коэффициентом обрабатываемости [1].

Кроме этого, волновод имеет сложную геометрическую форму при переходе от цилиндрической к уплощенной рабочей части. Эта форма должна быть выдержана с высокими техническими требованиями по допускам размеров, что приводит к необходимости использования станков с числовым программным управлением с возможностью реализации криволинейного движения инструмента.

Также на рабочей части волновода могут присутствовать мелкие конструктивные элементы в виде шипов для точечного воздействия на обрабатываемую заготовку. Из-за небольших размеров и сложной заостренной формы необходимо использовать мелко размерный инструмент, что будет ограничивать их стойкость.

Требования по точности и качеству высокие.

Исходя из выше перечисленного, делается заключение о том, что вал волновод не технологичный.

1.4 Цель и задачи

Цель работы – разработать технологию и обеспечить ее необходимым оснащением для изготовления вала волновода с достижением всех требований чертежа [5].

«Для этого выполняется выбор типа производства. Далее идет выбор заготовки, ее проектирование.

Для переходов и схем базирования подбираются оборудование и оснащение.

Для заполнения технологической документации в ходе проектирования операций получить всю информацию по режимам и нормам времени.

Конструкторская проработка включает проектирование патрона и резцов.

Разработать мероприятия по охране труда и обеспечению требований по экологичности.

Провести расчет экономического эффекта» [13].

Выводы по разделу

В разделе обоснован выбор титанового сплава для волновода ВТ3-1 на основе сопоставления различных свойств в зависимости от состава. Анализ технологичности показал, что основная проблема при обработке связана со свойствами материала.

2 Технологическая часть

2.1 Определение типа производства

Тип производства зависит от объема выпуска – 10000 деталей в год.

Регулярность и стабильность каждые 12 дней в течении 3 лет.

Согласно [14] это соответствует среднесерийному производству.

На участке используется соответствующий набор универсального технологического оборудования с ЧПУ.

2.2 Выбор стратегии разработки техпроцесса

В среднесерийном производстве применяются два типа станков: универсальные и специализированные. В связи с ограниченностью конструктивных параметров в данном техпроцессе можно обойтись только универсальным оборудованием [2].

Но единиц будет несколько. Последовательность их расстановки по ходу техпроцесса. Синхронизация операций – переменно-поточная.

Технологический процесс разделен на заготовительный этап, механическую обработку, включающую операции термообработки и контроля.

Отдельные механические операции закреплены за определенными типами станками в соответствии с базовым техпроцессом.

Квалификация рабочих в среднем высокая.

Используются специализированные и специальные приспособления, а также стандартный режущий и измерительный инструмент.

Технологическая документация разрабатывается детально (операционные карты с картами эскизов), применяются технически обоснованные нормы времени (табличные и статистические).

2.3 Базовая технология изготовления волновода

Базовые технологические процессы реализуются на токарном обрабатывающем центры с использованием ЧПУ.

В качестве исходной заготовки используется прокат. Для данного материала он имеет отклонения по диаметру порядка 0,5 мм, что приводит к значительным разбросам чернового припуска. Это, в свою очередь, на дальнейшей чистовой стадии процесса приводит к разбросу точности финишных размеров детали с вариацией резонансных рабочих частот.

В качестве исходной механической операции используется нарезка штучных заготовок, что с учетом выверки по упору, приводило к значительному разбросу линейных размеров. Это также отрицательно сказывается на эксплуатационно-конструкторских параметрах детали.

Необходимо обеспечить стабилизацию габаритного линейного размера. Это параметр необходим для того, чтобы можно было на последующей токарной операции проводить точную привязку по линейным размерам.

Изготовление мелкого размерного резьбового отверстия также отличается повышенным расходом резьбонарезного инструмента - метчиков. Более предпочтительным вариантом было бы нарезание резьбы резьбовым резцом. Но с учетом размера отверстий данные резцы очень маленькие по конструктивным параметрам. Это ограничивает технологические режимы. Использование токарного центра дает возможность обработки полностью за три установа цилиндрической части заготовки с формированием фасонной переходной поверхности.

Следующая стадия по обработке лысок и рабочей зоны с выкружкой выполняется по программе. Если волновод уплощенный с шипами, то обработка выполняется на фрезерном станке с ЧПУ. Для этого используется также три установа. Два из них выполняются с горизонтальным положением заготовки. Для обработки лысок с двух сторон требуется позиционирование

на 180° между ними. Для третьего установа используется вертикальное положение заготовки для доступа к рабочей зоне волновода сверху.

Для оптимизации расхода инструменты необходимо провести корректный выбор инструментального материала, типоразмера инструмента и формы его рабочей части.

Отдельное внимание необходимо уделить выбору технологических режимов, так как здесь большая группа инструментов имеет небольшие размеры, что приводит к значительным отклонениям, деформации и вибрациям. При превышении критических нагрузок высоко вероятна поломка такого инструмента.

Для обеспечения финишных требований необходимо использовать отделочные операции, в качестве которых могут выступать как шлифовальные переходы, так тонкое точение.

Примеры валов волноводов показаны на рисунках 7, 8.

Результаты измерений волноводов, изготовленных в мелкосерийном производстве, показаны на следующих рисунках.

На рисунках 9 - 18 показаны результатов измерений волноводов из титанового сплава для систем ультразвуковой сварки. Замерам подвергались как линейные, так и диаметральные размеры. Показаны разбросы по каждому замеру для каждого из контролируемых параметров.

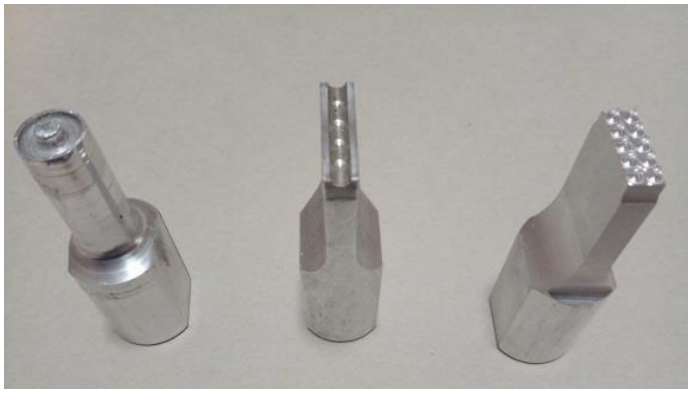
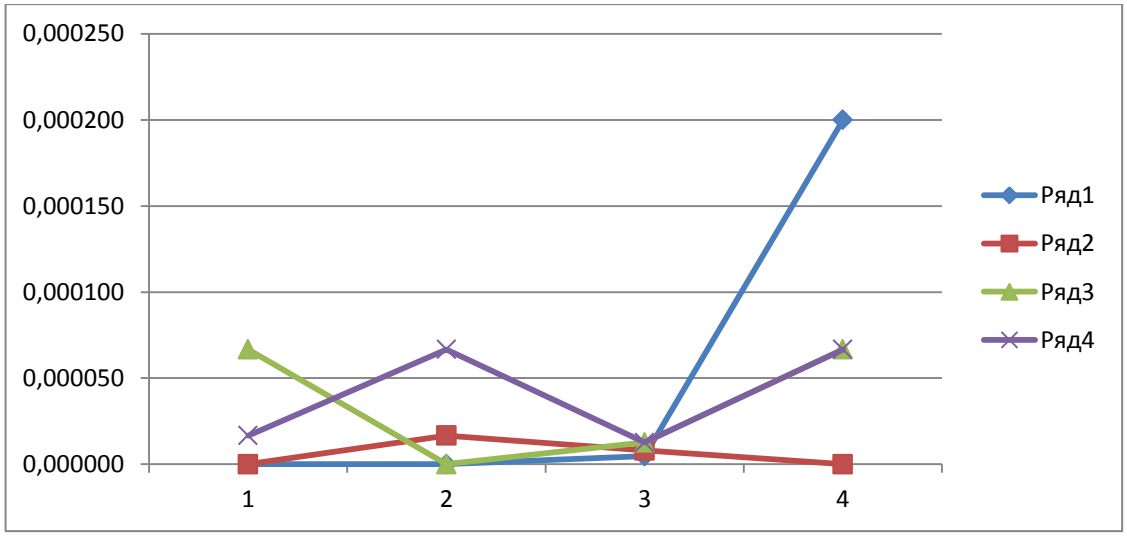


Рисунок 7 – Образцы волноводов

Рисунок 8 – Партии волноводов



Ряд 1 - микрометр 261-101; ряд 2 - микрометр 261-102; ряд 3 - игольчатый микрометр; ряд 4 - штангециркуль цифровой

Рисунок 9 – Отклонения в среднем при измерении образцов №1-8 с размером диаметром 16 мм

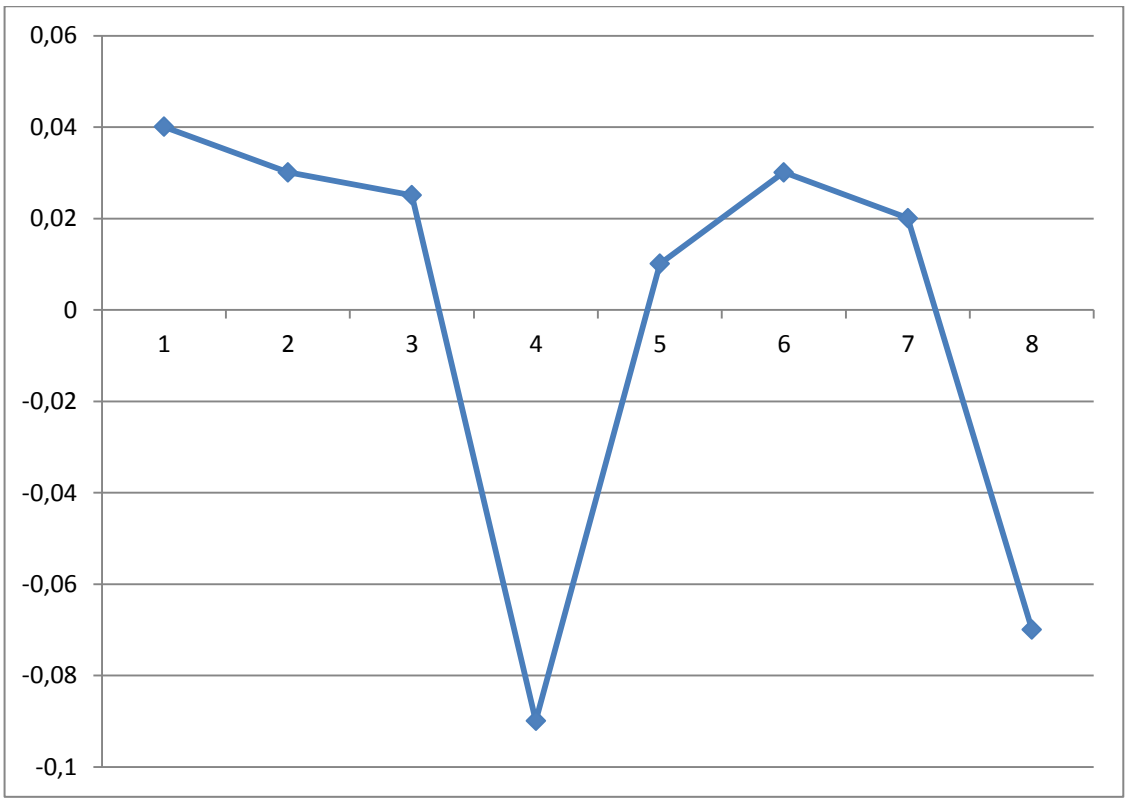


Рисунок 10 - Отклонения в среднем при измерении образцов №1-8 с размером по толщине лыски 8 мм штангенциркулем

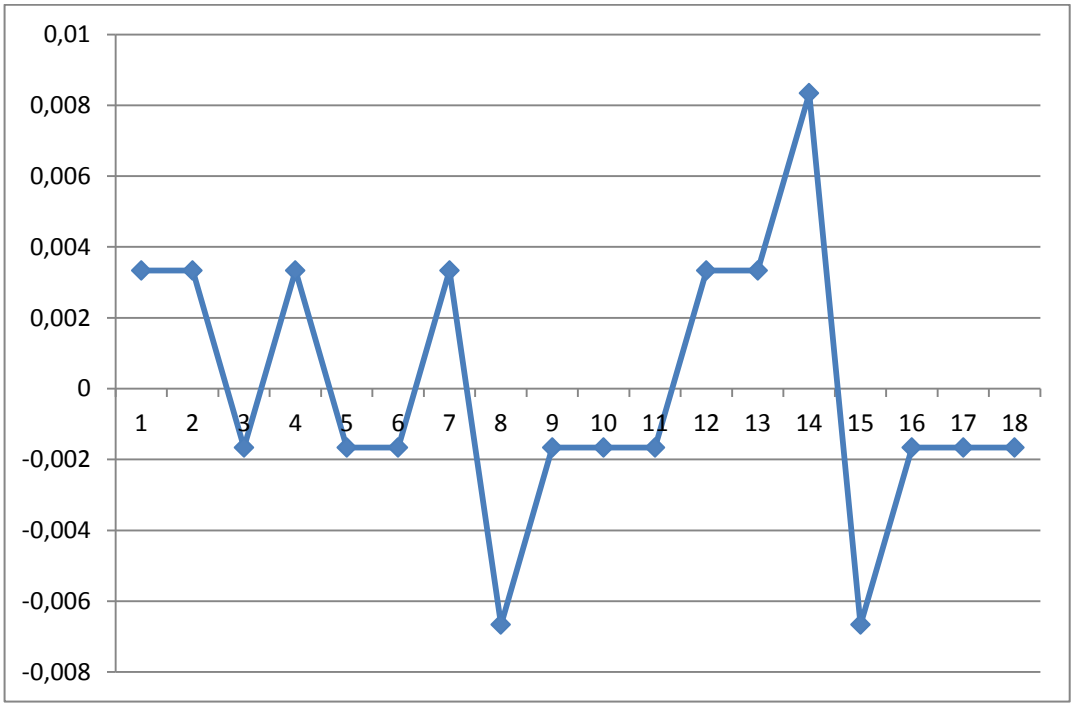


Рисунок 11 - Микрометр 261-101. Измерение 1-18 образца – толщина 8 мм

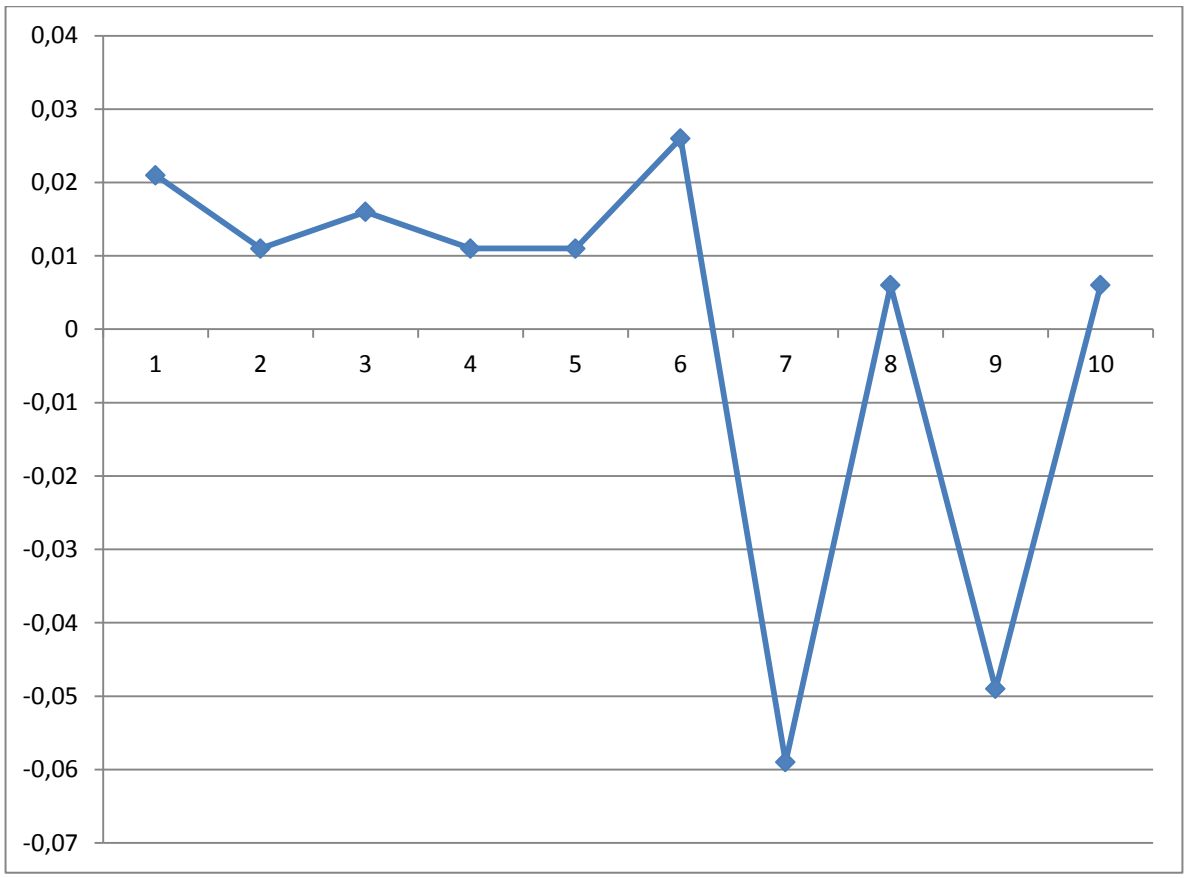


Рисунок 12 - Микрометр 261-101. Измерение 1-10 образца – толщина 8 мм

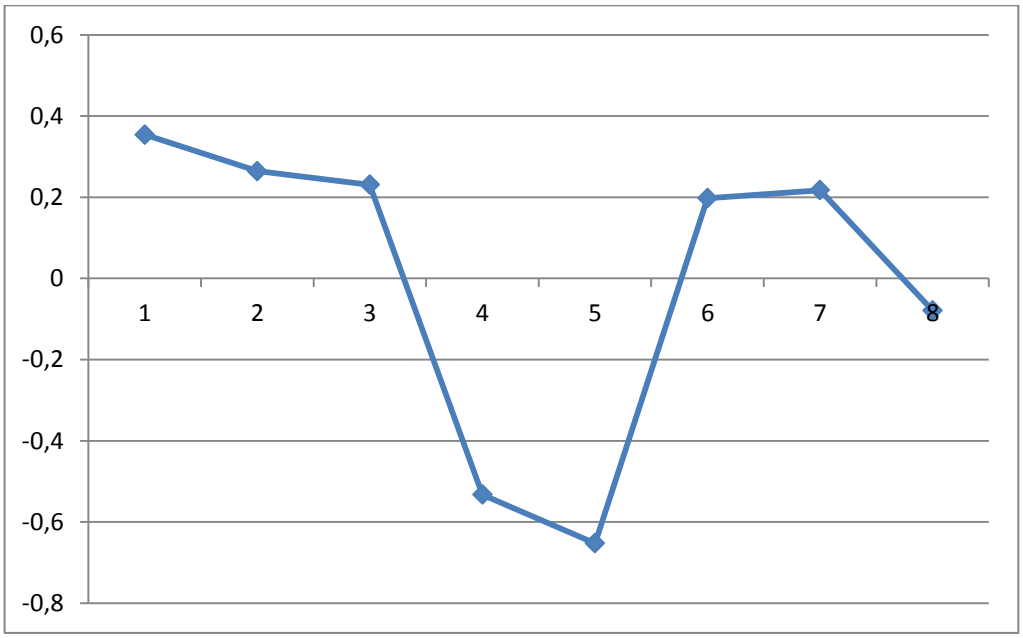


Рисунок 13 - Отклонения от среднего образцов 1-8 по ширине лыски. Микрометр 261-102

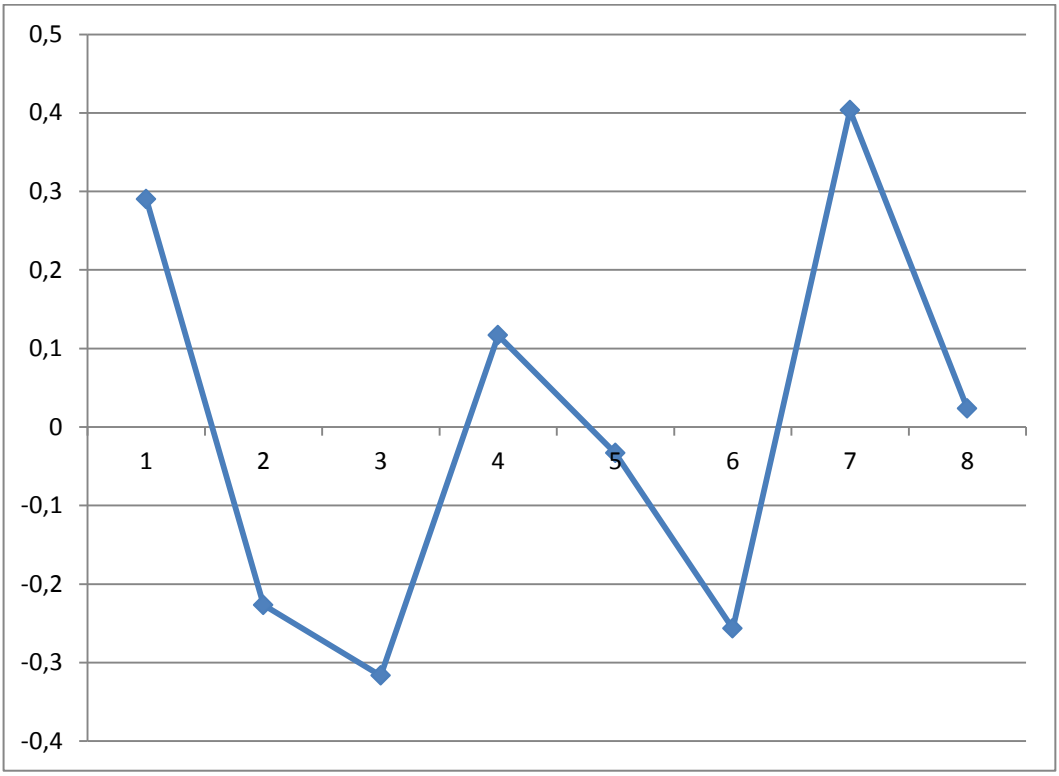


Рисунок 14 - Микрометр 261-102. Измерение образцов №1-8 размера диаметр 16 мм. Отклонения по длине от среднего

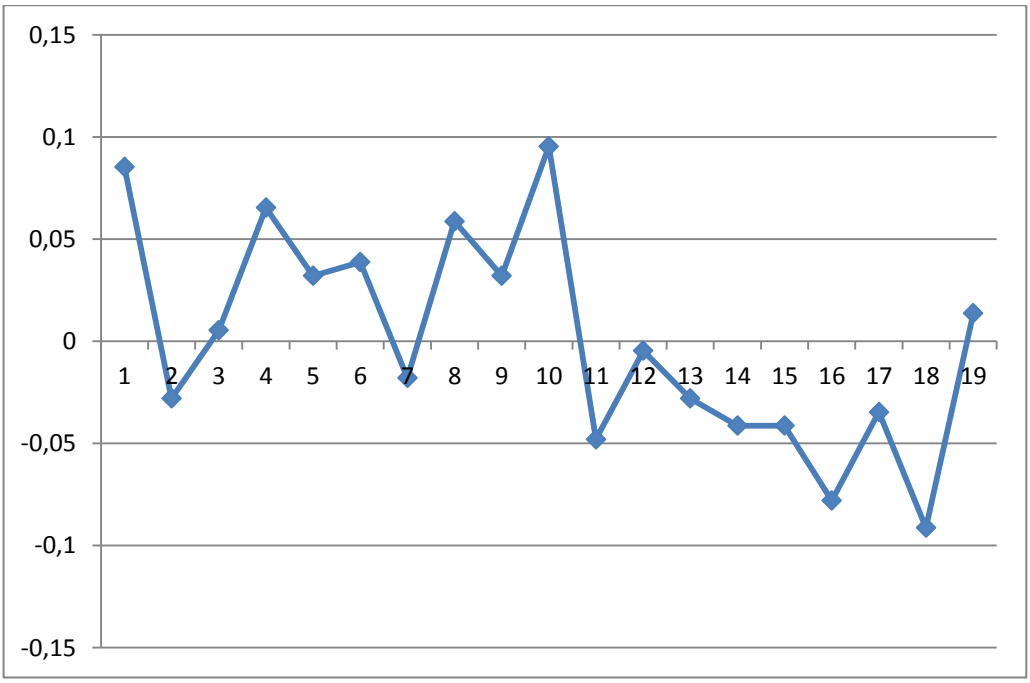


Рисунок 15 - Отклонения от среднего образцов 1-18 по ширине лыски

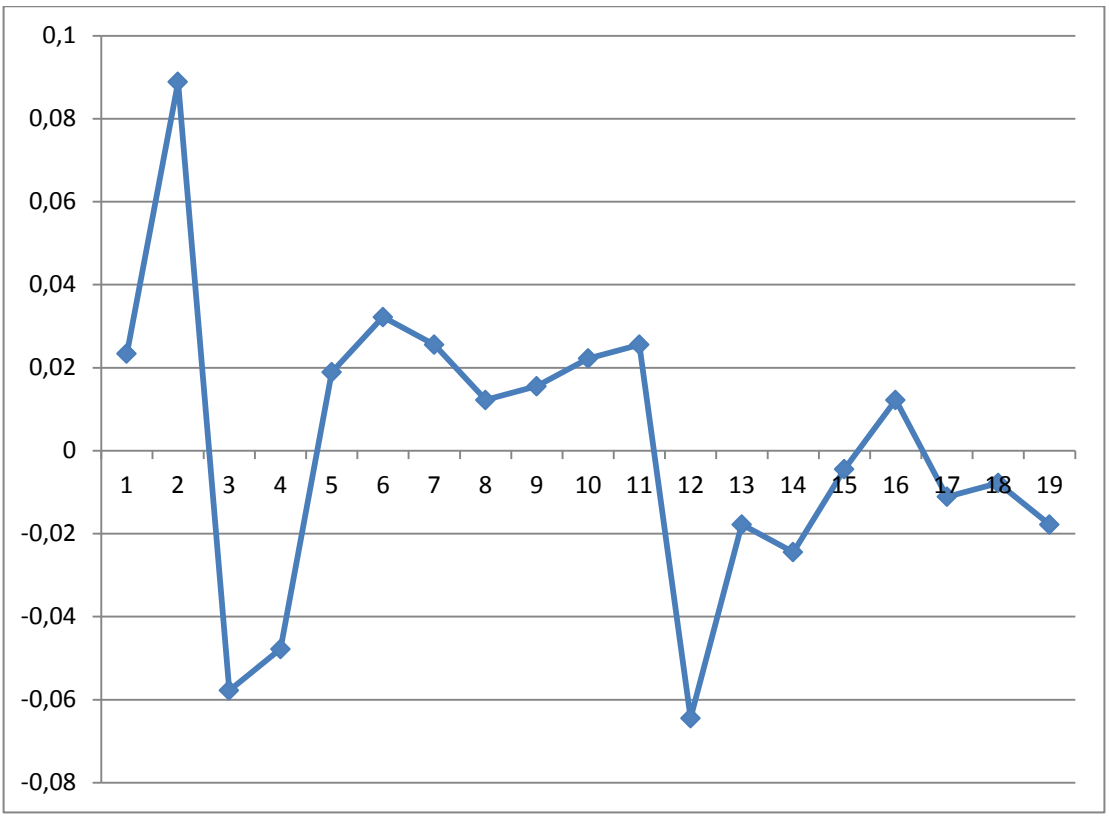


Рисунок 16 - Отклонения узкой части

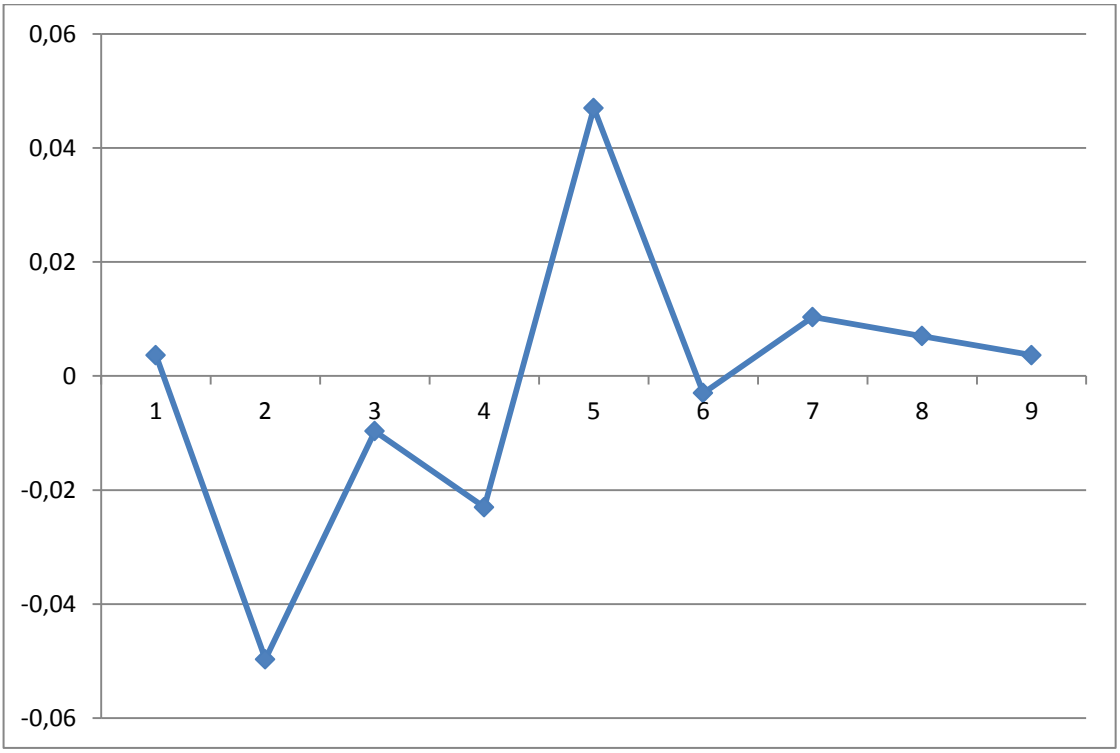


Рисунок 17 - Отклонения от среднего образцов 1-10 по ширине лыски

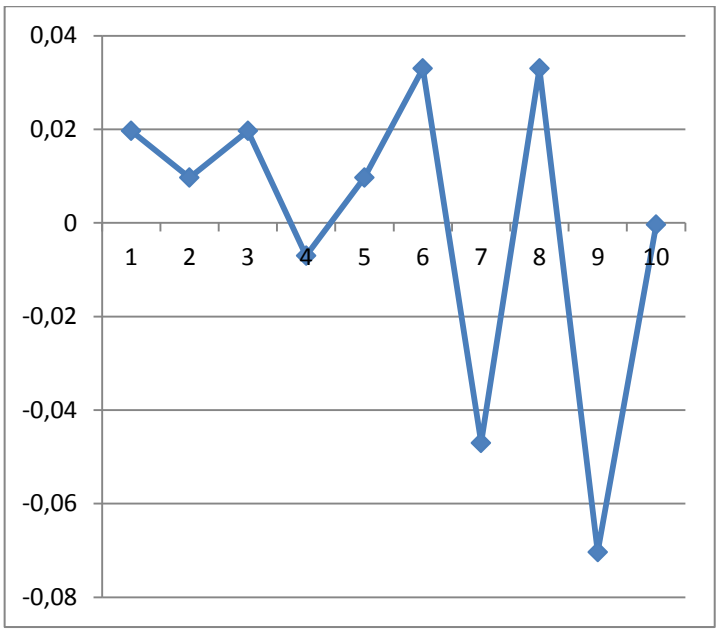


Рисунок 18 - Отклонения узкой части по ширине

На рисунках 19 - 21 показаны результаты замеров каждым из инструментов.

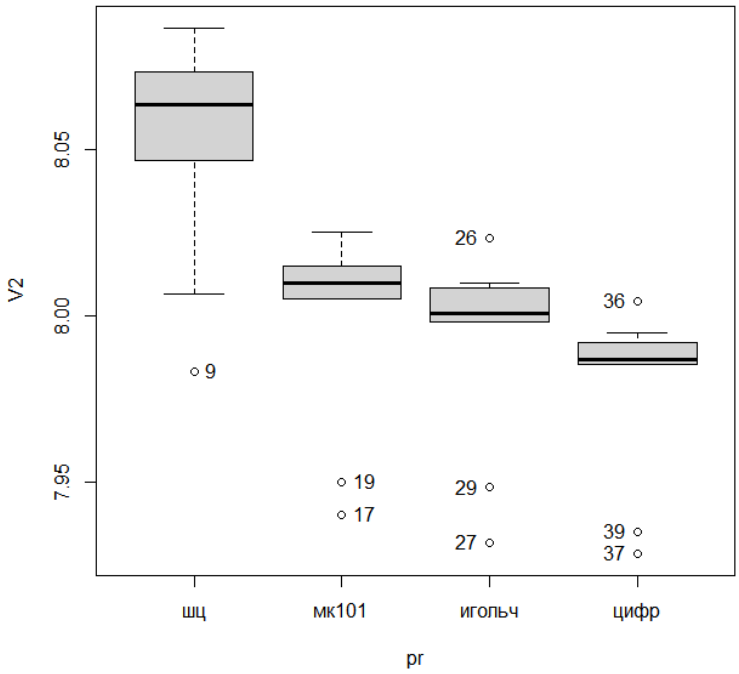


Рисунок 19 – Бокс-плот для измерения лыски 8 мм

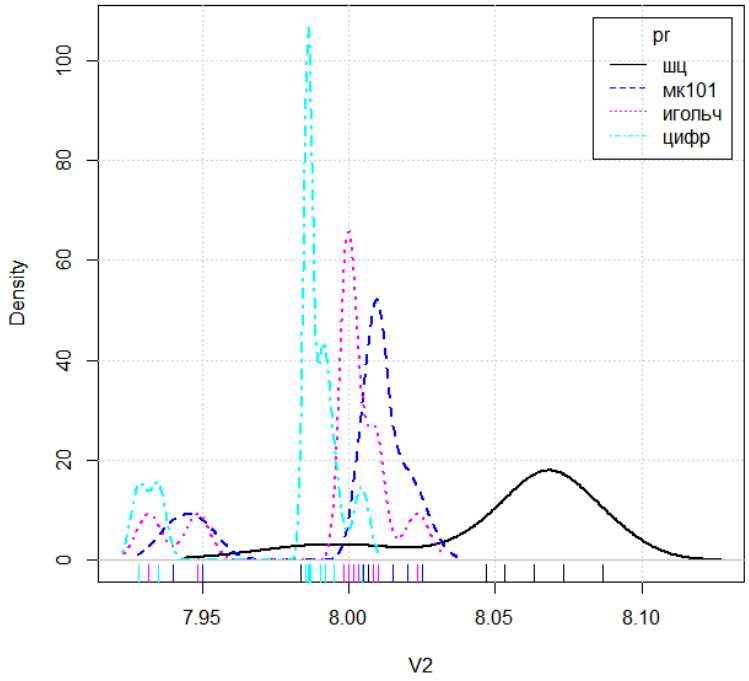


Рисунок 20 – Плотность распределения для измерения лыски 8 мм

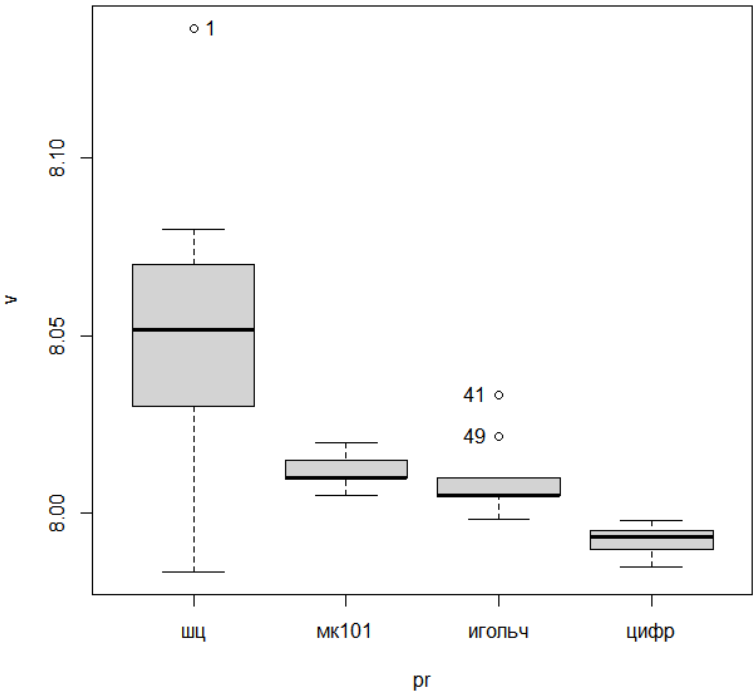


Рисунок 21 – Бокс-плот для измерения диаметра 8 мм

Результаты замеров свидетельствуют о нестабильности процесса обработки в условиях мелкосерийного производства.

2.4 Выбор метода получения заготовки

Процессы получения заготовок из титана относятся к области обработки давлением или проката.

Выбран должен быть метод, подходящий для среднесерийного производства. Сочетание максимальной производительности, минимальной трудоемкости, обеспечение снижения себестоимости и повышения качества достигается для заданного типа производства или прокатом или в ковкой.

В связи со свойствами титанового сплава (повышенная прочность), эксплуатационными требованиями (трещиностойкость) выбирается прокат. Введение дополнительной деформации приведет к повышению плотности дефектов и снижению усталостной выносливости.

Выбираем пруток катаный из титана и титановых сплавов по ГОСТ 26492-85. Номинальный диаметр 35 мм с верхним отклонением +0,6 мм и нижним – 1,0 мм.

Эскиз заготовки приведен на рисунке 22.

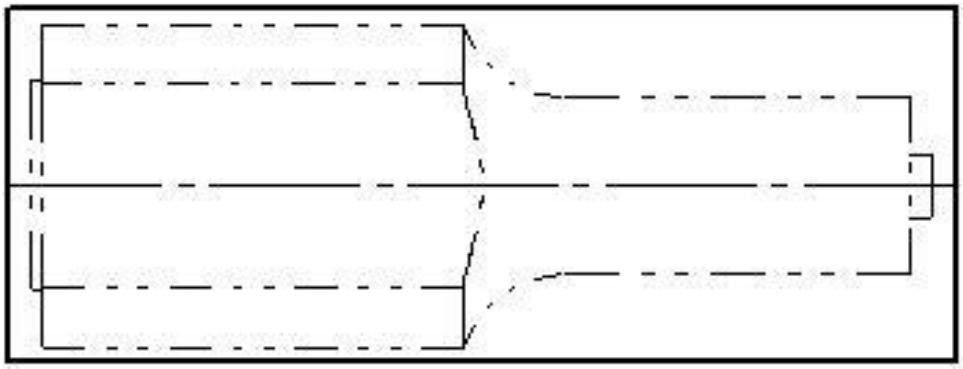


Рисунок 22 – Эскиз заготовки

На 1 м длины отклонение от прямолинейности не превышает 5 мм. Для единичной заготовки длиной 90 мм это отклонение уменьшается до 0,5 мм. «Определим стоимость проката:

$$S_{заг}=M+\Sigma C_{о.з}, \text{ руб}, \quad (1)$$

где M – затраты на материал заготовки, руб;

$\Sigma C_{о.з}$ – затраты на дополнительные операции по прокату, руб» [13].

«Первое слагаемое:

$$M = QS - (Q - q)\frac{S_{отх}}{1000}, \quad (2)$$

где Q – масса заготовки, кг;

q – масса детали, кг;

S – цена за килограмм материала, руб;

$S_{отх}$ – цена за тонну отходов, руб» [16].

M=0,39·1940-(0,39-0,17)·50/1000=582 руб.

Второе слагаемое (1)

$$C_{о.з}=(C_{п.з} \cdot T_{шт})/(60 \cdot 100), \quad (3)$$

где $C_{п.з}$ –затраты на рабочем месте, коп./ч;

$T_{шт}$ – штучное время выполнения дополнительных операций.

Последнее слагаемое:

$$T_{шт}=t_{маш} \cdot \varphi_к, \text{ мин}, \quad (4)$$

где $t_{маш}$ –время обработки, мин;

$\varphi_к$ – коэффициент серийности.

С учетом размеров заготовки

$$t_{маш}=0,03\cdot D_з, \quad (5)$$

где $D_з$ – диаметр заготовки, мм.

Получаем:

$t_{маш}=0,03\cdot 35=1,1$ мин

$T_{шт}=1,1\cdot 12=13,2$ мин

$C_{о.з}=(25000\cdot 13,2)/(60\cdot 100)=55$ руб

$S_{заг}=582+55=637$ руб.

Это стоимость заготовительного этапа.

2.5 Выбор методов обработки

Перед разработкой маршрута обработки вала волновода намечаются отдельные технологические переходы, выполнимые для каждой отдельной поверхности. Затем они объединяются на одной операции с учетом технологических возможностей станков [3].

На этом этапе устанавливается тип станков и другого оборудования, их характеристики и размеры, которые уточняются при детализации технологических операций. Разработка маршрута ориентируется на типовые процессы обработки деталей данного типа.

Разрезка проводится на ножовочном станке 8Б72 пилой 2257-0051 ГОСТ 18210-72 [20].

Типовой технологический процесс изготовления вала волновода включает в себя после заготовительного этапа подготовку чистовых технологических баз. Ими являются наружные цилиндрическая и торцовая плоскость.

Для обработки цилиндрических поверхностей применим три перехода. Точение черновое и чистовое. Далее термическая обработка - закалка в воду от температуры 850–880 °С и последующее старение при 550 °С в течение 5 часов с охлаждением на воздухе. Твердость НВ 350-380. Далее шлифование

круглое. Для круглого шлифования титанового сплава ВТ-3-1 рекомендуется использовать круги из карбида кремния на керамической связке, например 39С 60 KVX или 39С 60 KVK. Для снятия большого объёма стружки скорость резания принимается от 550 до 610 м/мин. При работе с титановыми сплавами важно соблюдать меры безопасности, так как обработка этих материалов может быть опасной из-за возможного возгорания стружки.

Более рациональным является использование третьим переходом тонкого точения.

Для растачивания выкружки на рабочей части волновода используется двух переходная обработка. Первый переход выборка напуска, а вторым проводится окончательная зачистка.

Для токарной обработки применяется станок - токарный центр Emco PCM 105. Он максимально компактный. Рабочая зона: диаметр до 75 мм, длина до 121 мм.

Рисунок 23 - Станок Emco PCM 105

Максимальные обороты до 4000 в минуту. Подача 0-5 м/мин. Усилие подачи предельное по всем осям 2000 Н. Мощность привода 2,9 кВт.

Для резьбового отверстия переходы следующие. Сначала сверление. Далее растачивание канавки под выход резьбового инструмента. Последний переход нарезание резьбы метчиком с формированием фаски.

Для точения используется резец MWLNL2016K06 T15K6 ТУ 2-035-892-82 с треугольной пластиной (рисунок 24).

Сверление глухого отверстия по программе проводится сверлом 2300-0317 Р18 ГОСТ 10902-77 диаметром 9,8 мм.

Для выхода резьбового инструмента используется растачивание внутренней выточки по программе резцом 2141-0551 Р6М5 ГОСТ 18873-7.

Далее нарезание резьбы метчиком 2629-0057 ГОСТ 17927-72.

Рисунок 24 - Резец MWLNL2016K06 T15K6 ТУ 2-035-892-82

Для закрепления заготовки используется трех кулачковый патрон. Схема базирования из-за соотношения размеров цилиндрической и торцовой поверхностей под установку-зажим получается для вала с двойной направляющей базой (рисунок 25).

Используется цилиндрическая заготовка с длиной образующей под кулачки более 40 мм. Это, при опорном диаметре торца 35 мм, определяет представленную схему базирования.

На рисунке 26 показана схема базирования после переустанова.

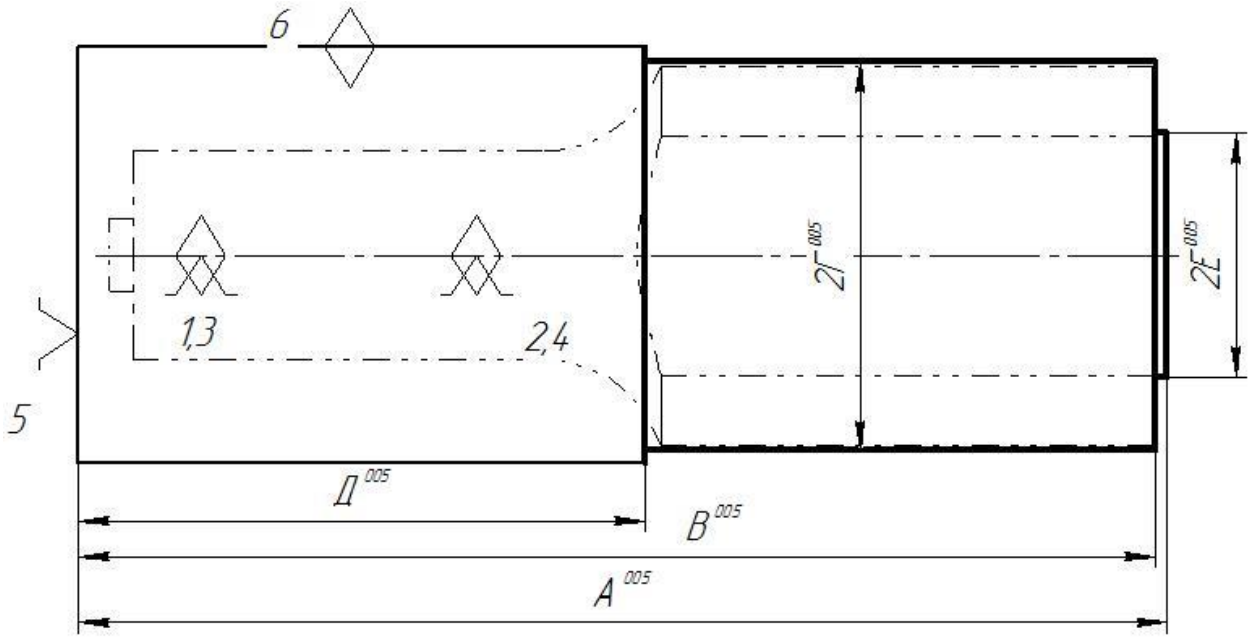


Рисунок 25 – Схема базирования на установе А

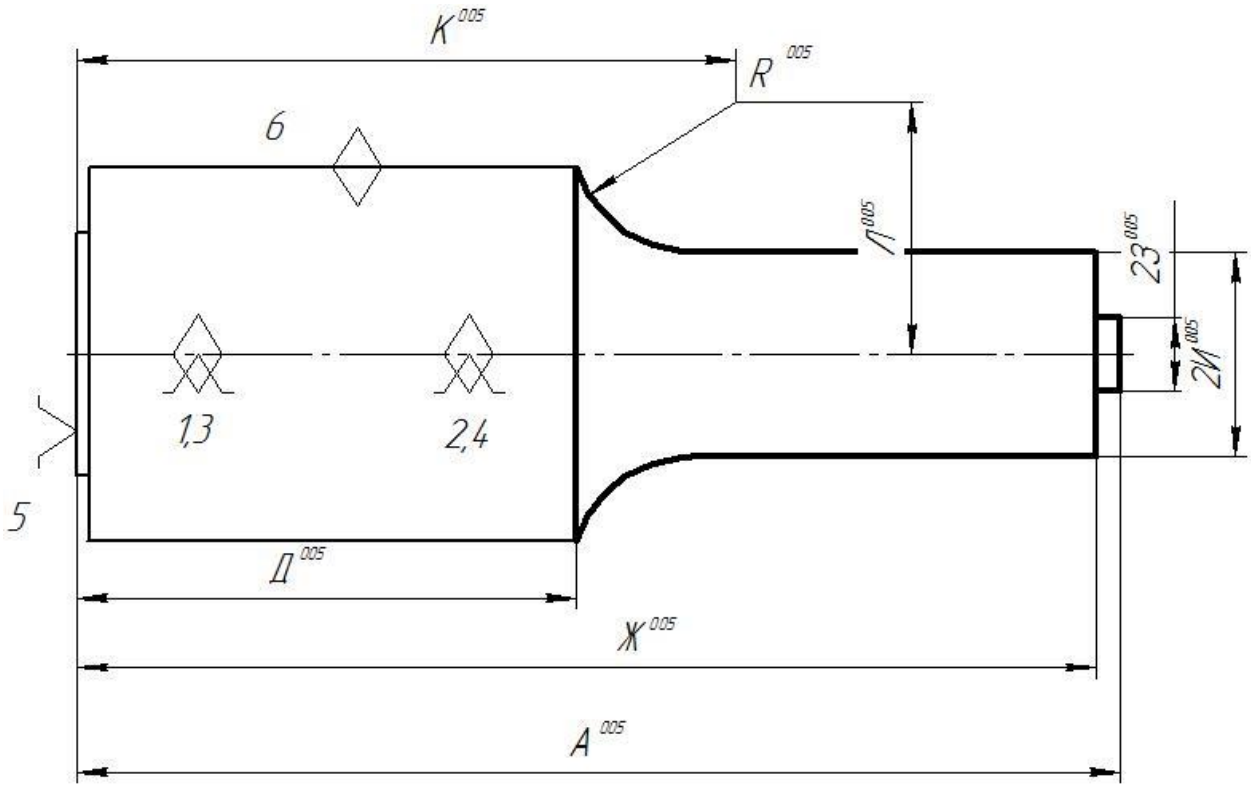


Рисунок 26 – Схема базирования на установе Б

Технические требования по чистовой базе на токарной операции показаны на рисунке 27.

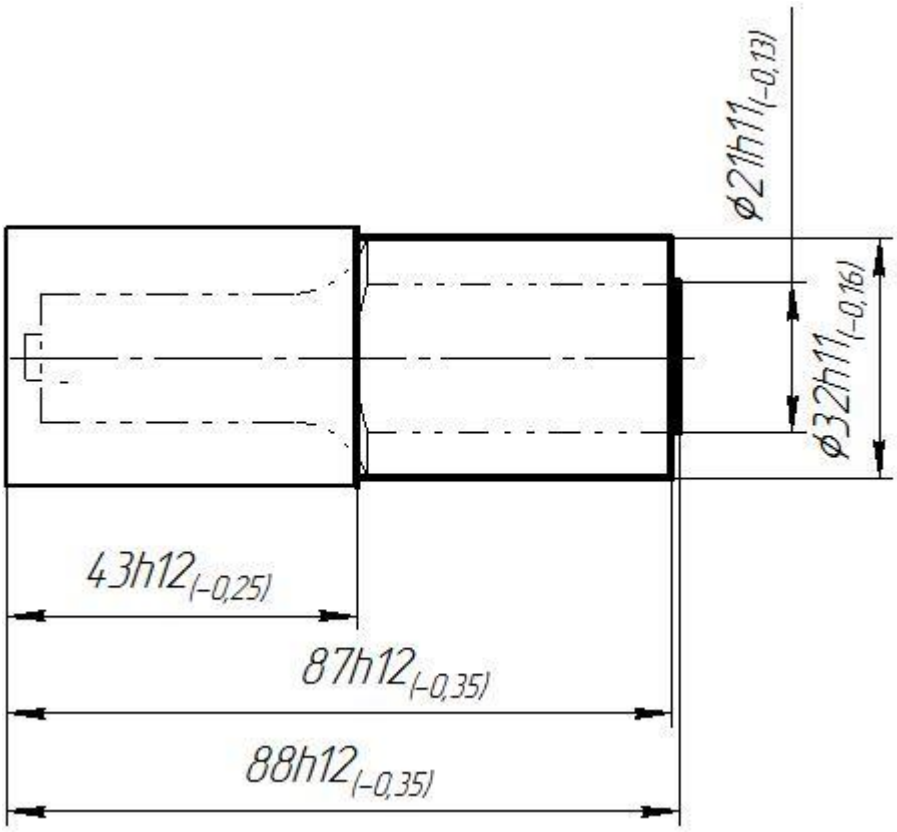


Рисунок 27 – Операционный эскиз на установ А

Для обработки лыски используется два установа с поворотом на 180°. Для этого используется универсально фрезерный станок SPECTR FU-3.2 и торцовая фреза, работающая с перекрытием по всей плоскости заготовки (рисунок 28).

Рисунок 28 - Фреза 100A08 R045S009SFDA22032

2.6 Расчет припусков

Для расчета операционных припусков назначаем перечень переходов, параметры качества поверхностного слоя (высоту микронеровностей и толщину дефектного слоя), погрешности формы и расположения заготовки, а также погрешности установки.

Для расчета припусков выполняется эскиз заготовки со схемой установки (рисунок 27) и указанием поверхностей для расчета или назначения припусков – 17h7 мм [10].

Шероховатость и дефектный слой берутся из справочных данных [8]. Погрешность формы и расположения:

$$p_{\text{пр}} = p_{\text{кор}}, \tag{6}$$

где $p_{\text{кор.}}$ – кривизна прутка, мм.

Принимаем ее по стандарту 0,5 мм.

По переходам остаточные пространственные отклонения будут после чернового точения:

$p_1 = 0{,}06 \cdot 500 = 30$ мкм.

После чистового

$p_2 = 0{,}04 \cdot 500 = 20$ мкм.

Расчет минимального припуска:

«Минимальный припуск:

$$2Z_{min}^{i} = 2[R_z^{i-1} + h^{i-1} + \sqrt{\left(p_{\text{пр}}^{i-1}\right)^2 + \left(\varepsilon_y^i\right)^2}], \tag{7}$$

где R_z и h - микронеровности и глубина дефектного слоя, мкм;

$p_{\text{пр}}$ – пространственные отклонения от предыдущего перехода, мкм;

ε_y^i – погрешность установки на данном переходе, мкм» [9].

Финишным переходом будет проход с упрочнением концентратора на токарном станке после термообработки для повышения многоцикловой усталостности при помощи алмазного выглаживателя.

После расчета все размеры с предельными отклонениями перенесены на наладки. Припуски используются для расчета режимов.

2.7 Расчет режимов резания

В техпроцессе обработки вала волновода используются операции лезвийной обработки, которые сопровождаются сложными физическими явлениями, затрудняющими точное математическое описание и их расчет. Поэтому, назначение режимов, гарантировано обеспечивающих требуемое качество и эффективность, возможно только на основе теоретических и экспериментальных зависимостей между технологическими параметрами и параметрами качества обработки, имеющих сложную математическую форму.

В работе расчет режимов резания выполняется на основе учета характеристик оборудования, рекомендуемых диапазонов режимов каталогов производителей выбранного режущего инструмента, а также исходя из жесткости заготовки и схемы установки на операции. Сама кинематика процесса обработки для данной детали простая.

Первым переходом на установе А операции 005 является точить заготовку по программе резцом MWLNL2016K06 T15K6 ТУ 2-035-892-82 на диаметр 32 мм на длину 44 мм.

Глубина резания по расчету припуска 1,5 мм. С учетом размера инструмента и глубины подача будет равна 0,4 мм/об.

«Скорость резания при точении:

$$v = \frac{C_V}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \cdot K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi 1 v} \cdot K_{rv} \cdot K_{ov}, \quad (8)$$

где T – стойкость пластины, T = 60 мин;

t – глубина резания, мм;

S – подача, мм/об;

C_V – коэффициент метода обработки резцами с пластинками из твердого сплава;

y_v, m, x_v – показатели степени;

K_{mv} – коэффициент, зависящий от качества обрабатываемого материала;

K_{nv} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

K_{uv} –коэффициент, учитывающий марку твердосплавной пластинки;

$K_{\varphi v}$, $K_{\varphi 1v}$ – коэффициенты, учитывающие главный и вспомогательные углы в плане;

K_{rv} – коэффициент, учитывающий радиус при вершине резца;

K_{ov} – коэффициент, учитывающий вид обработки» [12].

$$v = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 1.5^{0,15} \cdot 0,4^{0,45}} \cdot 1,11 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 0,94 \cdot 1 = 90,5, \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}, \tag{9}$$

где v – скорость резания, м/мин;

d – диаметр заготовки, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 90.5}{3,14 \cdot 44} = 1600, \text{об/мин}.$$

Для проверки возможности обработки определим через силу резания мощность резания:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \quad (10)$$

где P_z – тангенциальная сила резания, Н.

«Сила:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (11)$$

где C_p, x, y, n, k_p – коэффициенты и показатели степени, учитывающие условия обработки и геометрию инструмента» [17].

Поправочный коэффициент:

$$k_p = k_{mp} \cdot k_{\varphi p} \cdot k_{\gamma p} \cdot k_{rp}, \quad (12)$$

где $k_{mp}, k_{\varphi p}, k_{\gamma p}, k_{rp}$ – коэффициенты на условия обработки.

Граничная мощность:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta, \quad (13)$$

где η - потери в цепи привода станка.

Подставляя соответствующие значения:

$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1{,}5^1 \cdot 0{,}4^{0{,}75} \cdot 90{,}5^{-0{,}15} \cdot 1{,}3 = 1496$ Н.

$N = \frac{1496 \cdot 90{,}5}{1020 \cdot 60} = 2{,}2$ КВт.

$N_{\text{шп}} = 2{,}7 \cdot 0{,}85 = 2{,}3$ кВт.

Условие $N \leq N_{\text{шп}}$ выполняется, обработка возможна.

«Основное время по точению:

$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{n \cdot S}, \quad (14)$$

где n - частота вращения шпинделя, об/мин;

S –подача, мм/об;

l –длина обрабатываемой поверхности, мм;

l_1 –величина врезания, мм;

l_2 –величина перебега, мм» [19].

$T_0 = \frac{42+3+2}{1600 \cdot 0.4} = 0{,}07$ мин.

Для остальных переходов расчет аналогичный. Суммарно время составит для черновых переходов 0,53 мин.

Для чистового точения с учетом 1600 об/мин и подачи 0,08 мм/об:

$T_0 = \frac{95+2(3+2)}{1600 \cdot 0.08} = 0{,}82$ мин.

Для сверления, растачивания канавки и нарезания резьбы время составит 0,47 мин.

«Штучное время определяется по формуле:

$$\text{Т}_{\text{шт}} = \text{Т}_0 + \text{Т}_{\text{в}} + \text{Т}_{\text{обсл}} + \text{Т}_{\text{отд}}, \quad (15)$$

где Т_0 – основное время;

$\text{Т}_{\text{в}}$ - вспомогательное время;

$\text{Т}_{\text{обсл}}$ - время обслуживания рабочего места;

$\text{Т}_{\text{отд}}$ - время перерывов на отдых» [19].

Время на установку и снятие детали: $\text{Т}_{\text{ус}} = 0{,}18$ мин.

Вспомогательное время на переход:

$$\text{Т}_{\text{пер}} = t_{\text{п}} \cdot n, \quad (16)$$

где $t_{\text{п}} \cdot$ - время вспомогательного перехода;

n – количество переходов.

$\text{Т}_{\text{пер}} = 0{,}1 + 0{,}1 + 0{,}4 \cdot 4 = 1{,}8$ мин.

Суммарное вспомогательное время:

$T_в = T_{ус} + T_{пер} = 0{,}18 + 1{,}8 = 1{,}98$ мин.

Оперативное время:

$$T_{оп} = T_о + T_в, \quad (17)$$

От него высчитывается время на обслуживание и отдых:

$$T_{об} + T_{отд} = 0{,}05 \cdot T_{оп}, \quad (18)$$

$T_{оп} = 0{,}82 + 0{,}53 + 0{,}47 + 1{,}98 = 3{,}8$ мин.

$T_{об} + T_{отд} = 0{,}05 \cdot 3{,}8 = 0{,}2$ мин.

Тогда норма штучного времени:

$T_{шт} = 3{,}8 + 0{,}2 = 4$ мин.

С учетом дополнительного слагаемого для подготовительно-заключительного времени штучно –калькуляционного время:

$$T_{ШТ.К} = T_{ШТ} + \frac{T_{П.З}}{n}, \quad (19)$$

где $T_{ШТ}$ –штучная норма времени, мин;

$T_{п.з}$ –подготовительно заключительное время, мин;

n – объем партии выпускаемых изделий, шт.

Тогда

$T_{шт-к} = \frac{25}{\frac{10000 \cdot 12}{254}} + 4 = 4{,}05$ мин.

Остальные операции представлены в технологической документации (приложение А в таблице А.1 и А.2).

Указаны оборудование и оснащение, а также расчетные показатели.

По токарной операции изменения касаются выбора станочного приспособления и расточного резца.

2.8 Рекомендации по проектируемой технологии

В качестве альтернативного варианта рассматривалось поверхностное пластическое деформирование (ППД) путем выглаживания. Этот метод кроме точности и качества обеспечивает повышение усталостной выносливости. Но в условиях ультразвуковых вибраций нет достаточно надежных сведений по повышению трещиностойкости после ППД.

Отдельно необходимо выполнить анализ по термообработке. Введение изотермического отжига приводит к повышению эксплуатационных свойств детали.

В качестве лимитирующих операций здесь нет предпочтительных, так как и токарные и фрезерные переходы характеризуются большим объемом выполняемых работ. В качестве альтернативного варианта станочного оборудования используем токарно-фрезерный центр, оснащенный приводными позициями для осевого инструмента. Это дает возможность обработки детали на одной единице технологического оборудования, что сокращает расходы на транспортировку и установку-снятие заготовки.

Помимо этого, возможность обработки за минимальное количество установок приводит к повышению точности. Проектирование технологического процесса основано на использовании стандартных методик, а также данных из стандартов по расчету режимов резания норм времени.

Выводы по разделу

В разделе разработана технология изготовления вала волновода из титанового сплава ВТ3-1 с учетом объема выпуска.

3 Проектирование оснастки

3.1 Общие сведения

Лимитирующая операция точение, которая включает токарную обработку, растачивание рабочей части и обработку резьбового отверстия.

Для закрепления заготовки используется патрон. Это устройство, фиксирующее заготовку в рабочей зоне станка в необходимом положении в процессе обработки по выбранной схеме базирования.

Требования к патрону следующие. Он должен быть безопасным, технологичным (по изготовлению, сборке и ремонту), точным, жестким, надежным, эргономичным. Для удобства работы с ним он должно быть компактным.

3.2 Проектирование приспособления

Для обеспечения точного и надежного закрепления заготовки вала волновода необходимо предусмотреть соответствующие установочные и зажимные элементы у патрона. Для обеспечения стабильности усилий закрепления патрон должен иметь механизированный привод зажимы.

Для фрезерной операции используется приспособление наладочного типа с установочными призмами и зажимом прихватами.

Операция по точению является главной по обеспечению окончательной точности цилиндрических и фасонных поверхностей. Подробный расчет проведен именно на эти переходы. Припуск под чистовой переход определяется снятием напуска при черновой обработке. Поэтому приспособление спроектировано для токарной операции.

Базовым приспособлением на этих операциях является токарный трех кулачковый самоцентрирующий патрон. Особенность конструкции заключается в выборе зажимного механизма (рисунок 29).

В качестве такого механизма выбран клиновой механизм, который отличается повышенной точностью с большим передаточным отношением и дает возможность точного центрирования заготовки.

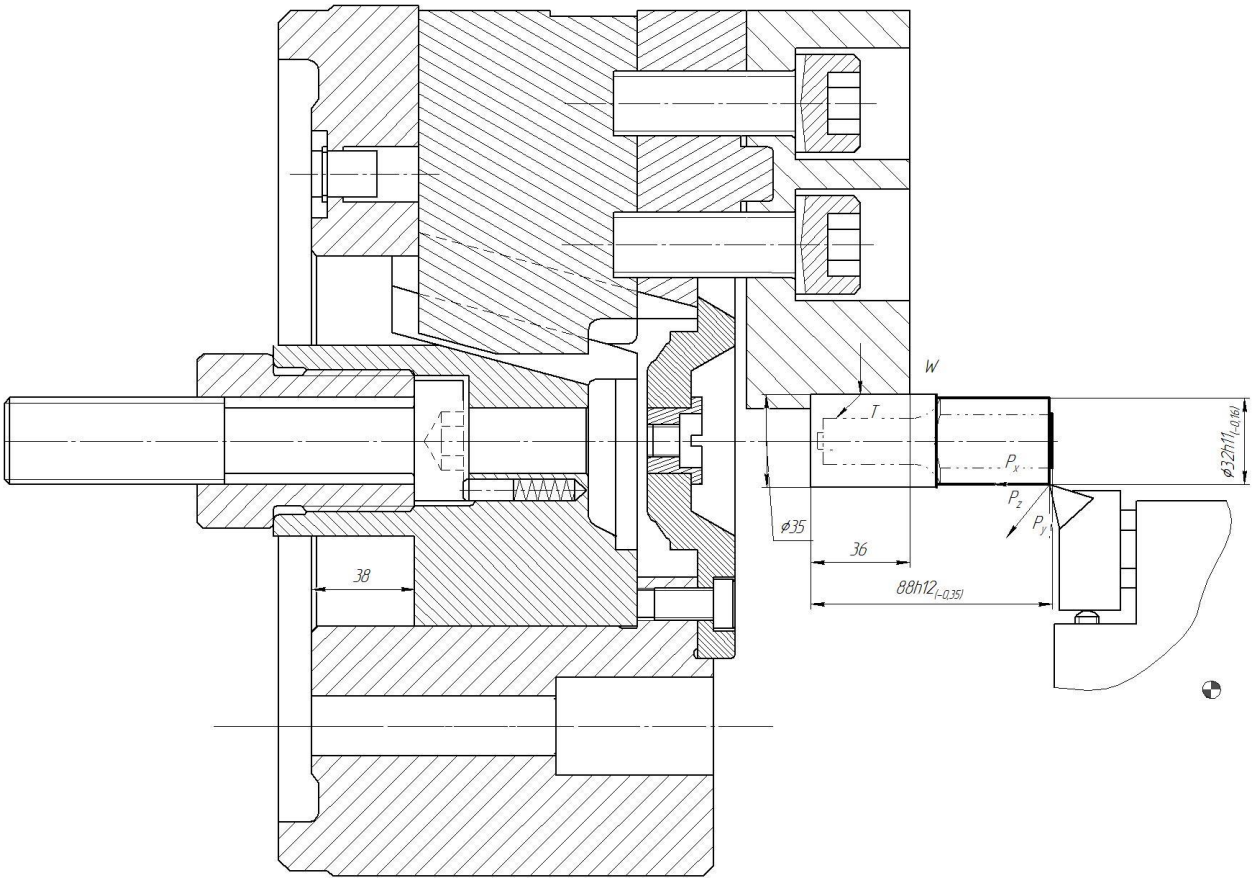


Рисунок 29 – Расчетная схема для проектирования патрона

Все необходимые расчеты основаны на решение уравнений статического равновесия, которое обеспечивает расчет минимальной силы закрепления

$$W = \frac{k \cdot \left(P_Z \cdot l_1 + P_Y \cdot l_1 + P_X \cdot l_2\right)}{m \cdot f \cdot l_3}, \qquad (20)$$

«где k – коэффициент безопасности;

P_Z – тангенциальная сила резания, Н;

P_Y – радиальная сила резания, Н;

P_x– осевая сила сила резания, Н;

$l_{1,2,3}$ – плечи действия сил резания и сил закрепления м;

m – количество кулачков;

f – коэффициент трения» [15].

Необходимые силы

$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1{,}5^{0.9} \cdot 0{,}4^{0{,}6} \cdot 90{,}5^{-0{,}3} \cdot 1{,}25 = 654$ Н.

$P_x = 10 \cdot 241 \cdot 1{,}5^{1.05} \cdot 0{,}4^{0{,}2} \cdot 90{,}5^{-0{,}4} \cdot 1{,}13 = 382$ Н.

Коэффициент безопасности

$$k = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 , \qquad (21)$$

где «K_0 = 1,5 - коэффициент гарантированного запаса,

K_1 =1,0 – коэффициент при чистовой обработке;

K_2=1,2 – коэффициент, учитывающий затупление режущего инструмента;

K_3 =1,0 – коэффициент, учитывающий прерывистое резание;

K_4 = 1,0 – коэффициент, характеризует постоянство сил закрепления при ручном закреплении;

K_5 = 1,0 – коэффициент, характеризует эргономику ручных зажимных механизмов, удобное расположение;

K_6 = 1,3 – коэффициент, учитывающий установку на опорные пластинки» [21].

$K = 1{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}3 = 2{,}34.$

Тогда

$$W = \frac{2{,}5 \cdot (382 \cdot 0{,}017 + 2542 \cdot 0{,}017 + 654 \cdot 0{,}07)}{3 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}018} = 29471H.$$

Потери в направляющих

$$W_1 = \frac{W}{1-\left(\frac{l_k}{H_k}\cdot f_1\right)}, \qquad (22)$$

«где W - исходная расчетная сила, Н;

$l_к$ – плечо до места действия W, м;

H_k – длина направляющей, м;

f_1 - коэффициент трения» [4].

С учетом принятых размеров

$$W_1 = \frac{29471}{1-\left(\frac{70}{100}\cdot 0{,}1\right)} = 31690 \text{ Н.}$$

С учетом конструктивного угла клина:

$$Q = \frac{W}{i_C}, \qquad (23)$$

где i_C – силовое отношение.

$Q = \frac{31690}{1{,}9} = 16679$, Н.

Чтобы гарантировать установку и снятие заготовки для смещения зажимов S_K ход штока $S_ш$ должен быть

$$S_ш = \frac{S_K}{i_C}. \qquad (24)$$

$S_ш = \frac{4}{0{,}53} = 7{,}5$ мм.

Для гарантии принимается равным 15 мм.

Станочный привод обеспечивает передачу энергии от пневмо- или гидроцилиндра зажиму. Примем как более удобный пневматический привод зажима.

«Диаметр поршня

$$D = 1{,}13\sqrt{\frac{Q}{P\cdot\mu}} \quad (25)$$

где P –давление, Мпа;

η - коэффициент полезного действия» [11].

$$D = 1{,}13\cdot\sqrt{\frac{16679}{0{,}95\cdot 0{,}4}} = 236\,\text{мм}.$$

Для компоновки станка это много. Применим гидравлику.

$$D = 1{,}13\cdot\sqrt{\frac{16679}{0{,}95\cdot 7{,}5}} = 54\,\text{мм}.$$

«Выбранное значение диаметра поршня округляем до ближайшего большего стандартного. Принимаем по стандарту D=63 мм» [16].

Точность приспособления определяется технологическим допуском, который для чернового точения составит 0,12 мм. Тогда погрешность самого патрона не должна превышать 30% от него, то есть составлять в пределе 0,04 мм [18].

Погрешность приспособления зависит от суммы отклонений звеньев размерной цепи соединяющих базовую поверхность патрона и базовую поверхность кулачков

$$\Delta_\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} TA^2}, \quad (26)$$

где TA – допуск на составляющее звено цепи, мм.

Тогда суммарная погрешность

$$\Delta_\varepsilon = \sqrt{0{,}015^2 + 0{,}005^2 + 0{,}007^2} = 0{,}017 \text{ мм}.$$

Приспособление представляет патрон с клиновым механизмом зажима. Внутри базового корпуса 1 расположены элементы зажимного механизма. Они включают в себя цилиндрический клин с тремя направляющими Т-образными пазами. В цилиндрический клин 2 в левое резьбовое отверстие

вкручивается фланцевая втулка 5. Внутри нее через отверстие проходит тяга 6. Она выполнена в виде винта с цилиндрической головкой, торцом которой он упирается на фланцевую втулку 5. В головке винта выполнено сферическое углубление куда входит стопорный штифт 11, который поджимается пружиной 12. В радиальных пазах корпуса 1 радиально установлены подвижные кулачки 12. Во внутренней части они имеют Т-образные выступы, которые зацепляются с пазами цилиндрического клина 2.

Передняя поверхность подвижных кулачков 12 стыкуется с базовыми проставками 3, которые закрепляются винтами 15 на постоянных кулачках. Последние проходят через два отверстия сменных кулачков 9. С правой стороны базовый корпус 1 закрывается герметизирующей крышкой 4. В центре эта крышка имеет центральную втулку в которую вкручивается винт 13. Сама герметизирующая крышка 4 закрепляется на базовом корпусе 1 винтами 13. С левой стороны базовый корпус 1 имеет установочную проточку, по которой он базируется на фланец станка и закрепляется на нем винтами 14. С торцовой стороны базовый корпус имеет отверстие в которое вставлен герметизирующий штифт 7, в кольцевую проточку которой установлено стопорное кольцо 10.

Патрон работает следующим образом. Приспособление устанавливается по базирующей проточке и закрепляется на фланце станка винтами 14. Перед обработкой из герметизирующей крышки 4 извлекается втулка 8 с винтом 13. Через отверстие в крышке и соосное с ним центральное отверстие цилиндрического клина 2 происходит фиксация по внутреннему шестиграннику тяги 6. На него накручивается тяга, проходящая через шпиндель станка и передающее усилие с гидравлического привода зажима. После этого происходит установка втулки 8 в герметизирующую крышку для обеспечения замкнутой полости и исключения попадания грязи внутрь механизма патрона. При настройке сменных кулачков необходимо передвинуть проставку 3. Для точного центрирования проставки 3 используется базирующий выступ. Для обеспечения смазывания по

скользящим поверхностям внутрь отверстия корпуса патрона помещается консистентная смазка. При зажиме заготовки давление подается в правую полость привода и тяга 6 перемещает цилиндрический клин 2 влево. При скольжении постоянных кулачков 12 по направляющему пазу клина 2 происходит их смещения в радиальном направлении по направлению к оси заготовки, что приводит к ее фиксации. На установочной базовой поверхности сменных кулачков для подгонки под разные диаметры предусматриваются соответствующие выточки. Это необходимо для того, чтобы обеспечить надежную фиксацию заготовки при ограниченном ходе кулачков в радиальном направлении, что обусловлено конструктивными особенностями механизма клинового зажима. При подаче давления в левую полость, тяга толкает клин вправо, что приводит к скольжению сменных кулачков и зафиксированных на них через проставки 3 постоянных кулачков в радиальном направлении от центра заготовки. Происходит ее раскрепление.

3.3 Проектирование инструмента

Для обеспечения точности используются токарные резцы, которые имеет надежный механизм крепления режущих пластин. Также используется инструментальный материал с многослойным покрытием, которое формирует защитный слой и обеспечивает повышение износостойкости режущей части. Это стабилизирует температурные факторы в зоне резания и повышает точность и качество обработки.

При изготовлении резьбового отверстия необходимо применить мелко размерный расточной канавочный инструмент. Конфигурация рабочей режущей части выполнена аналогично расточному резцу для обработки фасонной рабочей части (рисунок 30).

Закрепления обоих инструментов происходит в цилиндрической державке, так как основная часть корпуса этих инструментов имеет цилиндрическую форму.

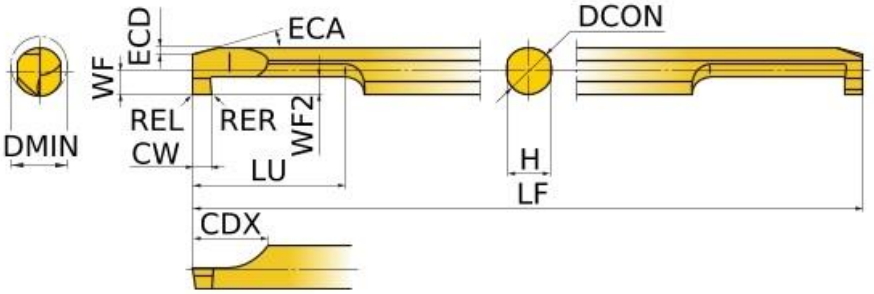


Рисунок 30 – Расточной канавочный инструмент

Для обработки рабочей зоны волновода необходим мелко размерный инструмент, в качестве которого используется расточная борштанга (рисунок 31).

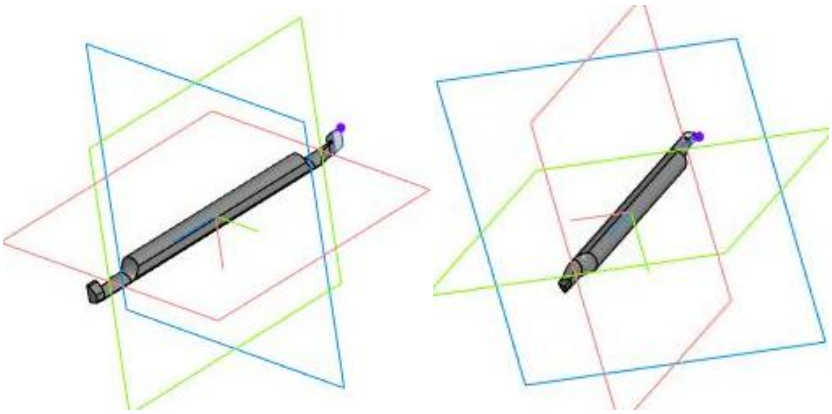


Рисунок 31 – 3D модели расточного инструмента

Режущая часть имеет большие углы в плане, что позволяет сформировать поверхность тороидальной формы при движении инструмента по дуговой траектории, что задается программным обеспечением.

Выводы по разделу

Спроектирован патрон и мелкоразмерный расточной инструмент.

4 Безопасность и экологичность процесса

При изготовлении волновода из титанового сплава на токарной, фрезерной, термической или шлифовальной операциях возникает ряд опасных вредных производственных факторов (ОВПФ).

Возможно механическое повреждение и нанесения травм рабочему подвижными органами технологических систем. Все операции механизированы. При этом привода зажимов развивают значительные усилия. Возможно нанесение травм острыми кромками режущего инструмента и заусенцами, возникающими при обработке заготовки. При обработке на переходах возможен отлет стружки, особенно мелкой и попадание в глаза с их повреждением.

При изготовлении волновода в зоне резания возникают высокие температуры, что может привести к термическим ожогам. Взаимодействие нагретой поверхности со смазочно-охлаждающей жидкостью приводит к токсичным испарениям.

Все процессы обработки в производственном помещении сопровождаются шумом, высокая интенсивность которого может приводить к постепенному снижению слуха.

Изготовление волновода сопровождается контрольно-измерительными операциями и переходами, при выполнении которых необходимо обеспечивать точное и надежное считывание информации со шкал контрольно-измерительных средств. Это приводит к напряжению зрительных анализаторов.

Технологическое оборудование в цехе работает с питанием от электрической сети в 380 вольт, что может привести к поражению электрическим током.

Нагрев используется также при термической обработке детали, где возможны термические ожоги и токсичные испарения.

Температурные эффекты, а также короткое замыкание может привести к возникновению пожаров.

Процесс резания при скоростной обработке сопровождается вращением заготовки или инструмента, что приводит к высокочастотным вибрациям элементов станков. Могут передаваться низкочастотные вибрации через фундамент производственного помещения. Это приводит к отрицательному воздействию вибрационными возмущениями.

Для защиты от травм все подвижные части станков, в частности токарно-фрезерного и шлифовального, ограждаются защитными экранами, включая рабочую зону станка.

Для обеспечения очистки воздуха в помещении каждое рабочее место оснащается местной приточно-вытяжной вентиляцией. В рамках общецехового устройства помещение оснащено приточно-вытяжной вентиляцией общего обмена воздуха. Кроме того, она оснащается фильтрующими устройствами для исключения попадания пыли и грязи из производственного помещения наружу. Данная система воздухообмена также способствует стабилизации температуры. При обработке работает местная вентиляция для оперативного удаления токсичных испарений.

Рабочие операторы обязательно оснащаются средствами индивидуальной защиты, включая спецовку, защитную обувь, прорезиненные перчатки, защитные очки и беруши. Для работы с высоким напряжением используются изолирующие коврики.

Для снижения нагрузки на зрительные анализаторы, а также обеспечения высокой надежности считывания информации, зона обработки и особенно контроля обеспечивается локальными средствами освещения, наряду с комбинированным искусствено-естественным освещением в производственном цехе.

Для защиты от шума оборудование обрабатывается - покрывается звукоизолирующими плитами.

Для защиты рабочих от поражения электрическим током необходима проверка состояния оборудования, его оснащение системами аварийного выключения электрических цепей, предохранительными устройствами.

С учетом пожарной опасности категории В, рабочие места в цехе оборудуются первичными средствами пожаротушения в виде пенных и углекислотных огнетушителей. Предусматривается система пожарной сигнализации и пожаротушения.

Для обеспечения экологической устойчивости технологического проекта три вида технологических отходов проходят соответствующую очистку. Воздух, как уже было сказано выше, очищаются при помощи фильтрующих устройств в системе вентиляции. Твердые отходы в виде металлической стружки поступают на переплавку. Все остальное - сопутствующие твердые отходы, утилизируются на полигонах. Технологические жидкости перерабатывается в системе очистных сооружений с использованием комбинированной ступенчатой очистки.

Выводы по разделу

Данные мероприятие в комплексе привозят к необходимой защите от воздействия вредных факторов и снижению ущерба окружающей среды.

5 Экономическая эффективность работы

Задача раздела – «рассчитать технико-экономические показатели проектируемого технологического проекта. Произвести сравнительный анализ с показателями базового варианта и определить экономический эффект от предложенных в проекте технических решений» [6].

Решение поставленной задачи основано на данных предыдущих разделов. Обобщенная схема изменений процесса производства представлена на рисунке 32.

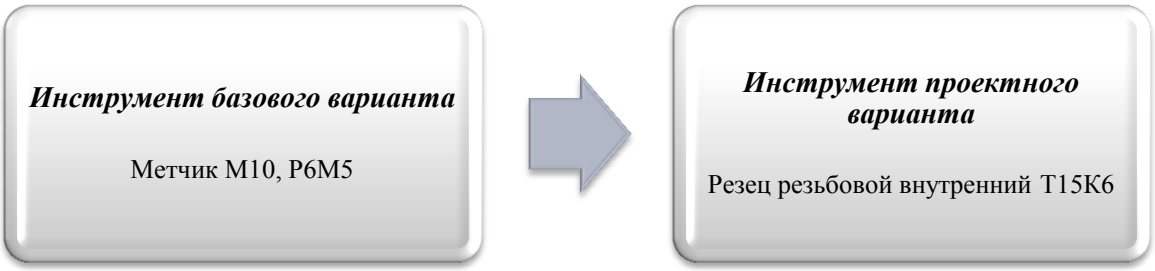


Рисунок 32 – Обобщенная схема изменений процесса производства

Обобщенная схема выделяет операции, наиболее значимые с точки зрения формирования затрат. Количественная оценка этих операций стартует с расчета технологической себестоимости по установленной методике [6]. Величина технологической себестоимости и показатели, ее определяющие, представлены на рисунке 33.

Из рисунка 33 наглядно просматривается зависимость величины технологической себестоимости от основной заработной платы, которые составляют около 65 % от общего объема, в обоих вариантах. При этом, технологическая себестоимость не значительно зависит от величины расходов на оборудование, доля которых составляет около 13 %, также в обоих вариантах.

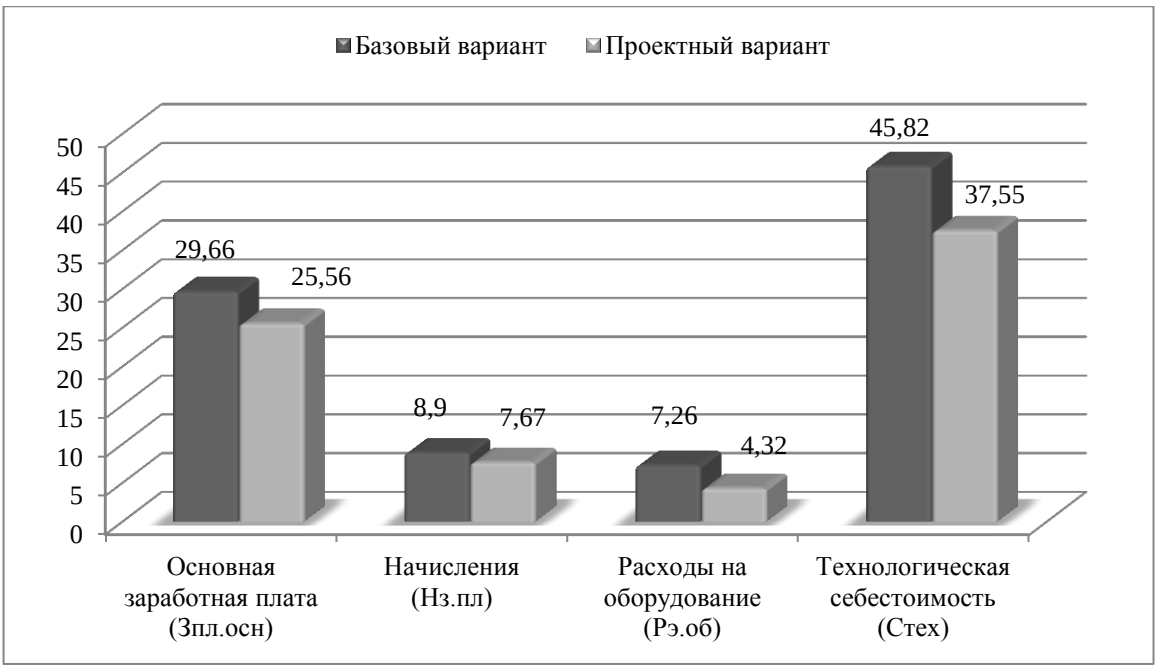


Рисунок 33 – Величина технологической себестоимости, а также, показатели из которых она формируется, руб.

После выполнения всех требуемых вычислений, следующим шагом является определение объема капиталовложений в данный процесс производства, иначе говоря, требуется оценить необходимый масштаб инвестиций. Для этого прибегнем к «методике расчета капитальных вложений (инвестиций) по сравниваемым вариантам технологического процесса» [6]. По причине того, что изменения технологического процесса касаются лишь инструмента, масштаб инвестиций будет основываться на частичном перечне затрат. Это будут: «затраты на проектирование ($K_{ПР}$), инструмент ($K_{И}$) и корректировку программного обеспечения ($K_{К.П.ОБ}$)» [6]. На изображении (рисунок 34) выразительно изложены цифровые данные заявленных показателей и общий масштаб инвестиций.

Анализ данных рисунка 34 показывает, что подавляющая часть инвестиций (79,6 %) приходится на проектирование. В то же время, затраты на инструмент составляют только 1,9 %, что является относительно небольшой долей общих вложений.

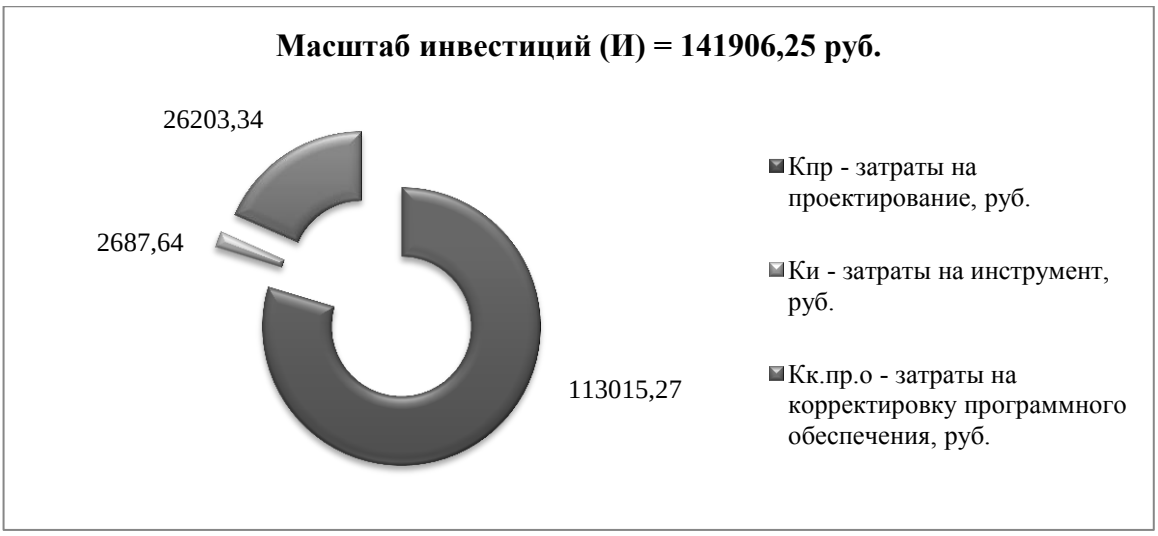


Рисунок 34 – Цифровые данные заявленных показателей и общий масштаб инвестиций, руб.

Следующим шагом является расчет количественных значений ключевых экономических показателей: «чистой прибыли, срока окупаемости и интегрального экономического эффекта» [6]. Расчет выполняется в соответствии с «методикой расчета показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологического процесса» [6]. Полученные значения данных показателей отражены на рисунке 35.

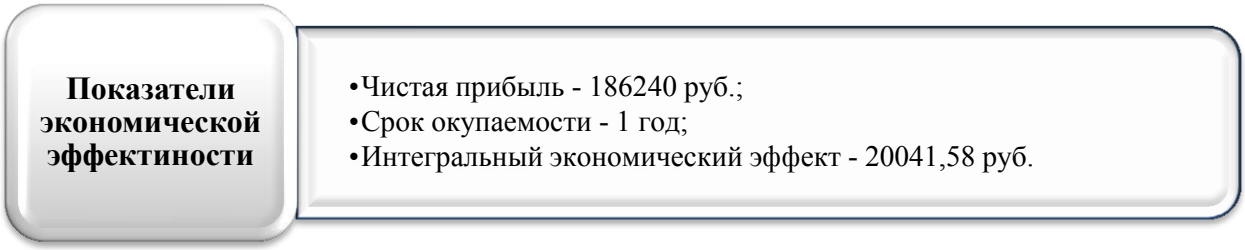


Рисунок 35 – Демонстрация цифровых параметров экономических показателей

Выводы по разделу

Все проведенные экономические исследования, подтверждают его эффективность, поскольку его реализация приведет к получению совокупного экономического эффекта в размере 20041,58 рублей.

Заключение

В выпускной-квалификационной работе был рассмотрен базовый и предложен усовершенствованный технологический процесс изготовления вала волновода, являющегося ответственной деталью сварочного ультразвукового оборудования.

В первом разделе представлено описание конструкции вала волновода и его функционального назначения в системе. Проведен анализ технологичности детали, рассмотрены требования к материалу и точности изготовления, а также описана работа вала в составе волноводного привода.

Во втором разделе определен тип производства, описаны его характеристики и выбран метод получения заготовки. В качестве оптимального метода получения заготовки рассматривается метод точной механической обработки из прутка с минимальными припусками на обработку, что обеспечивает требуемую точность и минимизирует потери материала. Также подробно описаны методы обработки каждой поверхности вала волновода, с учетом их формы, точности, шероховатости и функциональных требований. Особое внимание уделено методам обработки высокоточных посадочных поверхностей, обеспечивающих точное позиционирование вала в системе волноводную фасонную часть.

В третьем разделе представлено проектирование специализированного станочного приспособления для токарной операции. Данное приспособление, в отличие от стандартных, обеспечивает стабильность и точность базирования вала волновода, а также механизированный зажим, что ускоряет процесс установки и снятия детали. Это позволяет повысить точность обработки, уменьшить время на подготовку производства и обеспечивает стабильность положения вала при обработке.

Список используемой литературы и источников

1. Бердников Л.Н., Безъязычный В.Ф. Справочник фрезеровщика. – М. : Инновационное машиностроение, 2023. – 272 с.
2. Бочкарев П.Ю. Оценка производственной технологичности деталей: Учебное пособие/П.Ю. Бочкарев, Л.Г. Бокова. – СПб: Издательство «Лань», 2022. – 132 с.
3. Вереина Л. И. Металлообработка : справочник / Л.И. Вереина, М.М. Краснов, Е. И. Фрадкин; под общ. ред. Л.И. Вереиной. - Москва: ИНФРА-М, 2013. - 320 с.
4. Горохов В. А. Проектирование и расчет приспособлений : учебник для вузов / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 301 с.
5. Зубарев Ю. М. Специальные методы обработки заготовок в машиностроении : учеб. пособие для студентов машиностр. вузов / Ю. М. Зубарев. - Гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 400 с.
6. Зубкова, Н.В. Методическое указание к экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ по совершенствованию технологических процессов механической обработки деталей (для студентов специальностей 120100 / Н.В. Зубкова, – Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с.
7. Лебедев В. А. Технология машиностроения : Проектирование технологий изготовления изделий : учеб. пособие для вузов / В. А. Лебедев, М. А. Тамаркин, Д. П. Гепта. - Гриф УМО. - Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 361 с.
8. Луценко О. В. Технологические процессы, производства и оборудование : учеб. пособие / О. В. Луценко. - Белгород : БГТУ : ЭБС АСВ, 2012. - 90 с.
9. Марочник сталей и сплавов / сост. А. С. Зубченко [и др.] ; под ред. А. С. Зубченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2003. - 782 с.

10. Маталин А. А. Технология машиностроения : учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств" / А. А. Маталин. - Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. - СПб. [и др.] : Лань, 2010. - 512 с. : ил. - (Учеб. для вузов. Спец. лит.). - Библиогр.: с. 510.

11. Михайлов А.В., Расторгуев Д.А. Основы проектирования технологических процессов механосборочного производства/ А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев. - Тольятти: ТГУ, 2003. – 160 с. : ил. - Библиогр.: с. 264-267. - ISBN 5-8259-0172-8 : 143-64.

12. Обработка металлов резанием : справочник технолога / А. А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2004. - 784 с.

13. Расторгуев, Д. А. Проектирование технологических операций [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 140 с.

14. Режущий инструмент [Текст] : учеб. для вузов / Д. В. Кожевников [и др.] ; под ред. С. В. Кирсанова. - Гриф УМО. - Москва : Машиностроение, 2004. - 511 с.

15. Технология машиностроения : в 2 кн.: учеб. пособие для вузов. Кн.1. Основы технологии машиностроения / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С.Л. Мурашкина . - Изд. 2-е, доп. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2005. - 278 с. : ил. - Библиогр.: с. 275-276. - ISBN 5-06-004367-3 (кн. 1) : 164-55

16. Технология машиностроения : в 2 кн.: учеб. пособие для вузов. Кн.2. Производство деталей машин / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С.Л. Мурашкина. - Изд. 2-е, доп. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2005. - 295 с. : ил. - Библиогр.: с. 292-293. - Прил.: с. 223-291. - ISBN 5-06-004368-1 (кн. 2) : 167-27

17. Самойлова, Л. Н. Технологические процессы в машиностроении :

лаб. практикум : учеб. пособие / Л. Н. Самойлова, Г. Ю. Юрьева, А. В. Гирн. - Изд. 3-е, стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 156 с.

18. Строителев В. Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля [Текст] : учеб. для вузов / В. Н. Строителев ; [редкол.: В. Н. Азаров (председ.) и др.]. - Москва : Европ. центр по качеству, 2002. - 150 с.

19. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств : учеб. пособие. Т. 1 / А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 547 с.

20. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств : учеб. пособие. Т. 2 / А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 518 с.

21. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в машиностроении : учебное пособие / В. Ф. Безъязычный, В. Н. Крылов, Ю. К. Чарковский, Е. В. Шилков. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2017. - 432 с.

Приложение А

Технологические карты

Таблица А.1 - Маршрутная карта

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1

Дубл.				
Взам.				
Подл.				

Разраб.	БорисовС.П.	
Проверил	Зотов А.В.	
Утвердил	Логинов Н.Ю.	
Н. контр.	Зотов А.В.	Вал волновод

Лист: 2, 1

М 01	ВТ3-1 ГОСТ 19807-91									
	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код заготовки	Профиль и размеры	КД	МЗ
М 02		кг	0.17	1	1	0.5		31x87	1	0,39

	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз.	Тшт.
А03				000	4281 Ножовочно-отрезная											
Б04	Ножовочный станок 8Б72										1	1	1			
А05				005	4233 Токарная с ЧПУ											
Б06	Станок Emco PCM 105										1	1	1			
А07				010	4234 Фрезерная с ЧПУ											
Б08	Универсально фрезерный станок SPECTR FU-3.2										1	1	1			
А09				015	5030 Термообработка											
Б10											1	1	1			
А11	07	2		020	4233 Токарная с ЧПУ											
Б12	Станок Emco PCM 105										1	1	1			
А13	07	2		025	0125 Промывка											
Б14	Моечная машина										4	1	1			
А15	07	2		030	0200 Контроль											
Б16	Стол										1	1	1			
МК	Маршрутная карта															

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3.1118-82 Форма 16

Цех	УЧ	РМ	Опер.	Код наименование операции	СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.
				Код, наименование оборудования					Обозначение документа						
				Наименование детали, сборочной единицы или материала			Обозначение кода				ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.
001	1. Проверить внешним осмотром отсутствие заусенцев, острых кромок и шероховатость поверхностей														
T02	Ra 0,63 Образец шероховатости ГОСТ 9378-93														
T03	Ra 1,25 Образец шероховатости ГОСТ 9378-93														
T04	Ra 2,5 Образец шероховатости ГОСТ 9378-93														
005	2. Проверить размеры														
T06	Скоба ГОСТ 11098-75														
T07	Шаблон														
T08	Шаблон														
T09	Шаблон														
T10	Шаблон														
T11	Шаблон фасочный														
T12	Шаблон радиусный														
013	3. Клеймить окончательную приемку клеймом ОТК травлением														
T14	Клейма														
15															
16															
17															

АСКОН 10100.00000

Дубл. | Взам. | Подп.

МК | Маршрутная карта

2

Продолжение Приложения А

Таблица А.2 – Операционная карта

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

Дубл.			
Взам.			
Подл.			
		2	1
Разраб.	БорисовС.П.		
Проверил	Зотов А.В.		
Утвердил	Логинов Н.Ю.		
Н. контр.	Зотов А.В.	Вал волновод	005

Наименование операции	Материал	Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры	МЗ	КОИД
Токарная с ЧПУ	ВТ3-1 ГОСТ 19807-91		кг	0.17	31х87	0,36	1

Оборудование, устройство ЧПУ	Обозначение программы	То	Тв	Т пз.	Тшт.	СОЖ
Emco PCM 105		1,82	1,92	25	4,05	

Р		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	v
Т01	Патрон 7102-0074 ГОСТ 24351-80								
002	1. Точить заготовку предварительно								
Т03	Резец PTTNL 2020K16 T5K10 ТУ 2-035-892-82								
Р04		Т1	31,5	88	1.5	1	0.4	1600	90.5
005	2. Контролировать деталь.								
Т06	Линейка ГОСТ 427-75								
Т07	Штангенциркуль ШЦК-I-250-0,02 ГОСТ 166-89								
008	3. Переустановить и закрепить заготовку								
009	4. Точить заготовку предварительно								
Т10	Резец PTTNL 2020K16 T5K10 ТУ 2-035-892-82								
Р11		Т1	18,5	87	1.5	5	0.4	1600	90.5
012	5. Точить заготовку по программе								
Т13	Резец MWLNL2016K06 T15K6 ТУ 2-035-892-82								
ОК	Операционная карта								

Продолжение таблицы А.2

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2а

		Дубл. / Взам. / Подл.									2
											005
Р		ПИ	D или В	L	t	i	s	n	v
Р01		Т2	17	44	0.5	1	0.08	1600	85.5
002	6. Расточить внутренние выточки по программе								
Т03	Резец 2141-0551 Р6М5 ГОСТ 18873-73								
Р04		Т3	10,6	2,3	0.5	1	0,15	2454	84
005	1. Точить заготовку по программе								
Т06	Резец MWLNL2016K06 Т15К6 ТУ 2-035-892-82								
Р07		Т2	17	44	0.5	1	0.08	1600	85.5
008	2. Сверлить глухое отверстие по программе								
Т09	Сверло 2300-0317 Р18 ГОСТ 10902-77 ϕ9,8								
Р10		Т4	9,8	71	4,9	1	0,2	2470	76
011	3. Расточить внутренние выточки по программе								
Т12	Резец 2141-0551 Р6М5 ГОСТ 18873-73								
Р13		Т5	10,6	2,3	0.5	1	0,15	2454	84
014	4. Нарезать резьбу								
Т15	Метчик 2629-0057 ГОСТ 17927-72								
Р16		Т6	10	10	0,1	3	1	1624	51
17									
18									
ОК	Операционная карта								

Приложение Б

Спецификация приспособления

Таблица Б.1 – Спецификация приспособления

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
A1			25.ВКР.0ТМП.32.65.00.000 СБ	Сборочный чертеж		
				Детали		
		1	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.001	Корпус	1	
		2	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.002	Клин	1	
		3	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.003	Подкулачник	3	
		4	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.004	Крышка	1	
		2	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.005	Втулка	1	
		3	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.006	Винт тяговой	1	
		4	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.007	Ограничитель	3	
		5	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.008	Пробка	1	
		6	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.009	Винт крышки	3	
		7	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.010	Кольцо упорное	3	
		8	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.011	Фиксатор	2	
		9	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.012	Пружина	2	
		13	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.013	Пробка	1	
		14	25.ВКР.0ТМП.32.65.00.014	Сменный кулачок	3	
				Стандартные изделия		
		15		Винт М10х35 ГОСТ 11738-84	6	

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Борисов С.П.		
Пров.		Затов А.В.		
Рецензиз.				
Н.контр.		Затов А.В.		
Утв.		Логинов Н.Ю.		

25.ВКР.0ТМП.32.65.00.000.СП

Патрон трехкулачковый

Лит.	Лист	Листов
Д	1	2

ТГУ гр. ТМбп-2001а

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования | Копировал | Формат А4

Продолжение таблицы Б.1

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
		16		Винт М10х60 ГОСТ 11738-84	3	

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены.

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата

25.ВКР.ОТМП.32.65.00.000.СП

Лист 2

Не для коммерческого использования Копировал Формат А4

Приложение В

Спецификация резца фигурного

Таблица В.1 – Спецификация резца фигурного

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
A4			25.ВКР.0ТМП.32.66.00.000 СБ	Сборочный чертеж		
				Детали		
		1	25.ВКР.0ТМП.32.66.00.001	Державка	1	
		2	25.ВКР.0ТМП.32.66.00.002	Пластина режущая	2	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	25.ВКР.0ТМП.32.66.00.000.СП			
Разраб.		Борисов С.П.			Резец фигурный	Лит.	Лист	Листов
Пров.		ЗотовА.В.				Д		1
Рецензиров.						ТГУ гр. ТМбп-2001а		
Н.контр.		ЗотовА.В.						
Утв.		Логинов Н.Ю.						

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования Копировал Формат A4

Приложение Г

Спецификация резца канавочного

Таблица Г.1 – Спецификация резца канавочного

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А4			25.ВКР.0ТМП.32.67.00.000 СБ	Сборочный чертеж		
				Детали		
		1	25.ВКР.0ТМП.32.67.00.001	Державка	1	
		2	25.ВКР.0ТМП.32.67.00.002	Пластина режущая	2	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	25.ВКР.0ТМП.32.67.00.000.СП		
Разраб.		Борисов С.П.			Резец канавочный	Лит. Д	Лист	Листов 1
Пров.		ЗотовА.В.				ТГУ гр. ТМбп-2001а	
Реценз.							
Н.контр.		ЗотовА.В.					
Утв.		Логинов Н.Ю.					

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования Копировал Формат А4