

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)

Проектирование технологических процессов

(направленность (профиль)/ специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка шаблонов управляющих программ для групповой
технологии изготовления ультразвуковых волноводов

Студент

А.М. Воронин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Д.Ю. Воронов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент А.В. Краснов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н. А.С. Селиванов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н. Н.В. Зубкова

(И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

Воронин Андрей Михайлович: Разработка шаблонов управляющих программ для групповой технологии изготовления ультразвуковых волноводов

Кафедра: Оборудование и технологии машиностроительного производства. ТГУ, Тольятти, 2020 г.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы создания шаблонов управляющих программ для групповой технологии изготовления ультразвуковых волноводов. В проекте проанализированы конструкции различных ультразвуковых колебательных систем, используемых в технологиях ультразвуковой сварки, дано описание их функционального назначения. Разработан технологический процесс изготовления волноводов на станке с ЧПУ, подготовлены шаблоны управляющих программ с ЧПУ с целью технологической унификации изготовления волноводов разных типов.

В разделе «Безопасность и экологичность проекта» проведен анализ и выявление вредных и опасных производственных факторов.

В разделе «Экономическая эффективность работы» рассчитан экономический эффект от внедрения «шаблонной» технологии разработки управляющих программ для станка с ЧПУ с целью минимизации затрат на технологическую подготовку производства.

Abstract

In the final qualification work, the issues of creating control program templates for group technology for manufacturing ultrasonic waveguides are considered. The project analyzes the designs of various ultrasonic oscillatory systems used in ultrasonic welding technologies, describes their functional purpose. A technological process for the manufacture of waveguides on a CNC machine has been developed, templates for control programs with CNC have been prepared with the aim of technological unification of the manufacture of various types of waveguides.

In the section “Safety and environmental friendliness of the project” the analysis and identification of harmful and dangerous production factors is carried out.

In the section “Economic Efficiency”, the economic effect of introducing a “boilerplate” technology for developing control programs for a CNC machine is calculated in order to minimize the cost of technological preparation of production.

Содержание

Введение	6
1. Анализ конструкций ультразвуковых колебательных систем для ультразвуковых технологий	7
1.1 Назначение и общий принцип работы ультразвуковых колебательных систем	7
1.2 Конструктивные исполнения ультразвуковых колебательных систем для технологий ультразвуковой сварки полимерных материалов	8
2. Разработка технологического процесса изготовления ультразвуковых волноводов	14
2.1 Анализ конструктивного исполнения ультразвуковых волноводов	14
2.2 Проектирование технологических операций токарной обработки на станке с ЧПУ	16
3. Безопасность и экологичность проекта	37
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта	37
3.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков	38
3.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков	38
3.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)	39
3.4.1 Идентификация опасных факторов пожара	39
3.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта	39
3.4.3. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.	41
3.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта	42
3.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта	42
3.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта	43
4. Экономическая эффективность работы	44

4.1 Калькуляция себестоимости технологии ультразвуковой сборки	44
4.2 Расчет показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологии	45
Заключение	47
Список используемых источников	48

Введение

В современном машиностроении стоит задача повышения качества выпускаемых изделий в условиях массового и в то же время многономенклатурного, персонализированного производства.

В современных технологиях механической обработки наблюдается тенденция в применении комбинированных технологий, когда наряду с мономеханической обработкой в зону обработки вводится дополнительный поток концентрированной энергии. Одним из эффективных технологий комбинированной обработки являются ультразвуковые технологии. Воздействие ультразвуковых колебаний позволяет существенно повысить качество и производительность обработки. Наложение на инструмент или ввод в технологическую среду дополнительной энергии ультразвука способствует временному изменению физико-механических свойств среды и позволяет добиться улучшения обрабатываемости материалов без ухудшения качества обработки. Однако, для эффективного внедрения ультразвуковых технологий необходимо настраивать системы на резонансные частоты, причем для согласования по частоте также и учитывается технологическая нагрузка в которую вводится ультразвук. Поэтому для внедрения ультразвуковых технологий необходимы ультразвуковые колебательные системы различной мощности, встраиваемые в технологические аппараты. При этом для более эффективного применения ультразвука к колебательным системам предъявляются особые требования по качеству их изготовления и сборки.

Кроме того, учитывая многообразие технологических задач, где может быть востребованы ультразвуковые технологии и, как следствие, разнообразие ультразвуковых колебательных систем, то задача технологической унификации разнообразных конструкций ультразвуковых колебательных систем и их звеньев является актуальной и важной задачей в технологии их изготовления.

1 Анализ конструкций ультразвуковых колебательных систем для ультразвуковых технологий

1.1 Назначение и общий принцип работы ультразвуковых колебательных систем

Ультразвуковые колебательные системы (УЗКС) являются неотъемлемой частью ультразвуковых установок и предназначены для трансформации, передачи и усиления ультразвуковых колебаний, передающихся в технологическую нагрузку. Под технологической нагрузкой подразумевается среда, в которую передается ультразвук с целью повышения технологического эффекта. На рис. 1 приведена обобщенная схема ультразвуковой колебательной системы, выполненной на основе магнестрикционного преобразователя.

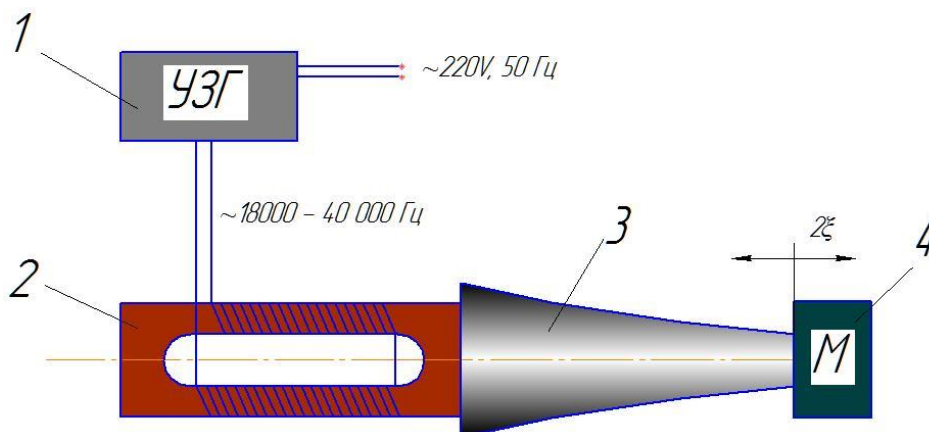


Рисунок 1. – Схема УЗКС

Генерация ультразвуковых колебаний электрического тока и напряжения осуществляется в ультразвуковом генераторе 1. По сути генератор служит для преобразования стандартной частоты переменного электрического тока и напряжения в частоту, соответствующей ультразвуковому диапазону, т.е. свыше 16 кГц. От ультразвукового генератора по электрическому кабелю переменный ток (напряжение) подаются на обмотку возбуждения магнестрикционного преобразователя

2. Основное назначение магнитострикционного преобразователя трансформировать колебания тока в механические колебания соответствующей частоты. Для усиления механических колебаний служит ультразвуковой волновод 3. УЗКС рассчитывается и проектируется таким образом, что все ее составные звенья работают на согласованной (резонансной) частоте, что позволяет добиться максимального эффекта от ввода ультразвуком в технологическую нагрузку.

1.2 Конструктивные исполнения ультразвуковых колебательных систем для технологий ультразвуковой сварки полимерных материалов

Рассмотрим некоторые конструктивные исполнения реальных ультразвуковых колебательных систем, разработанных в Тольяттинском государственном университете и используемых в аппаратах ультразвуковой сварки полимерных материалов. На рис. 2 представлена конструкция УЗКС для ультразвуковой точечной сварки термопластичных материалов.

В процессе работы УЗКС рабочий торец волновода 5 колеблется и передаёт колебания через привариваемую пластмассу в зону контакта свариваемых пластмасс. В результате трения и деформирования взаимодействующих поверхностей пластмасс в контактной зоне повышается температура, что приводит к расплавлению пластмассы.

На рис. 3. представлена конструкция УЗКС, аналогичная, изображенной на рис. 2, но выполненная с возможностью установки на волноводе сменных насадок. УЗКС такого исполнения используется в разработанном универсальном устройстве для ручной ультразвуковой сварки со сменными насадками предназначено для осуществления процессов ультразвуковой сварки (УЗС) или ультразвукового формования (УЗФ) головок крепёжных пластмассовых стержней под «заклёпку». УЗКС конструктивно состоит из следующих основных элементов (рис. 3.): магнитострикционного преобразователя 1 на который, намотана обмотка

возбуждения 3, волновода 6, выполненного в виде экспоненциального стержня из титанового сплава ВТЗ-1, на широком торце которого выполнено резьбовое отверстие для соединения его с переходником 5, припаянным к торцу активного элемента, а на узком торце - резьбовое отверстие для соединения с насадкой 8 при помощи шпильки 7.

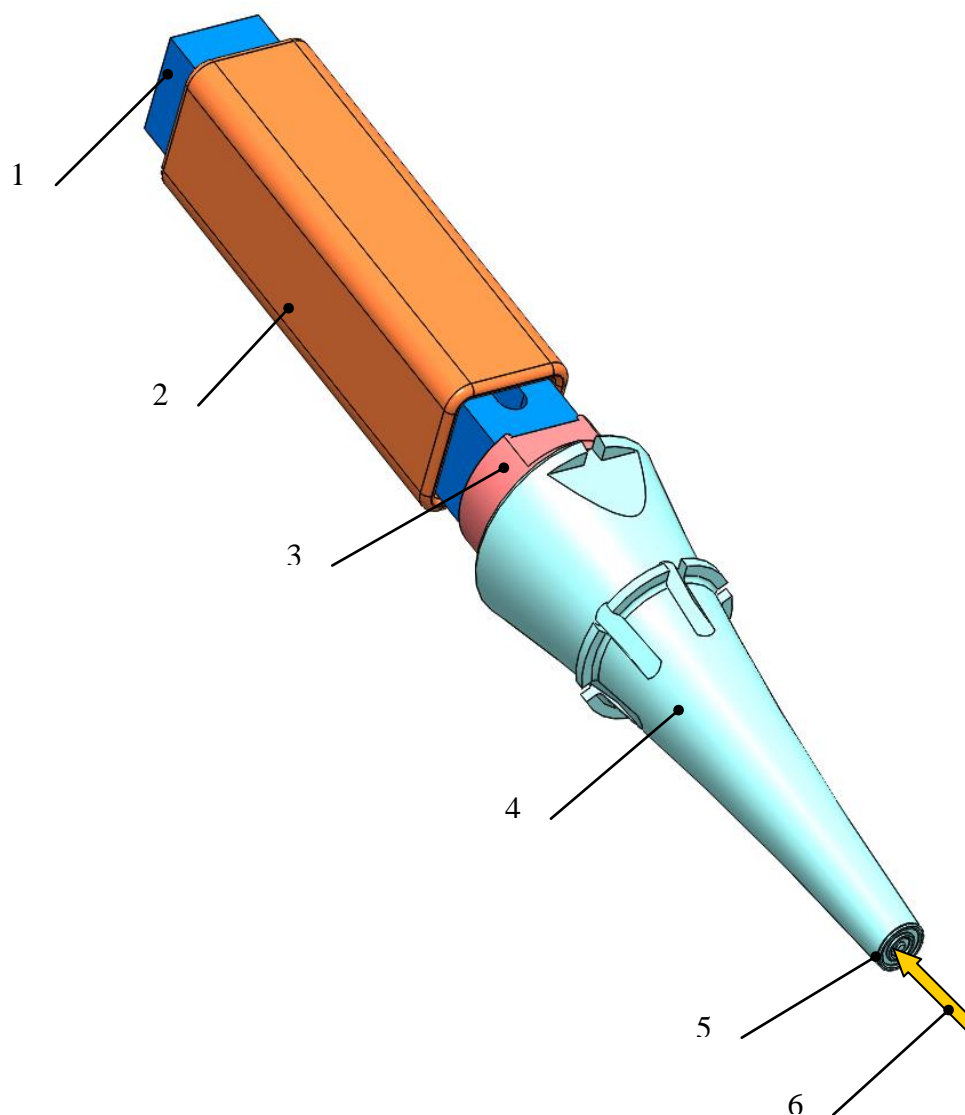


Рисунок 2. – Общий вид УЗКС для ультразвуковой точечной сварки:

1 – активный элемент (двигатель); 2 – обмотка подмагничивания-возбуждения; 3 – переходник; 4 – концентратор-волновод; 5 – рабочий торец сварочного волновода; 6 – нагрузка со стороны зоны сварки

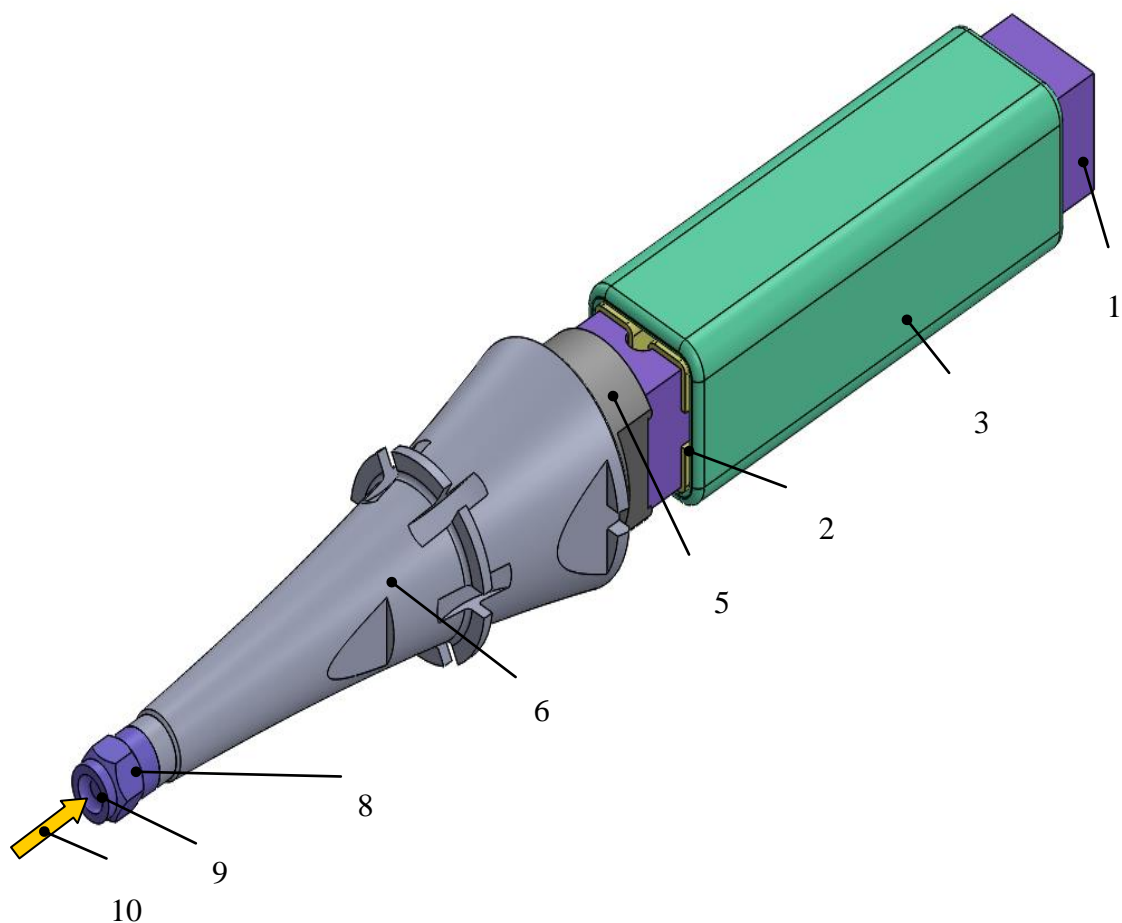


Рисунок 3. – Общий вид УЗКС для ультразвуковой сварки со сменными насадками: 1 – активный элемент (двигатель); 2 – щеки защитные; 3 – обмотка подмагничивания-возбуждения; 5 – переходник; 6 – бустер; 8 – насадка сменная; 9 – рабочий торец насадки; 10 – нагрузка со стороны зоны сварки

На рис. 4. представлена конструкция УЗКС для ультразвуковой трехточечной сварки полимерных материалов. Разработанная в ТГУ головка ультразвуковой сварки предназначена для встраивания в настольное сварочное оборудование и осуществления процесса трехточечной ультразвуковой сварки в частности клипсодержателя к обивке арки багажника автомобиля. Конструктивно головка состоит из: ультразвуковой колебательной системы (рис. 4), закрепленной внутри гильзы; разъема

(соединитель электрический типа 2РМТ18БПН4) и узла подачи сжатого воздуха.

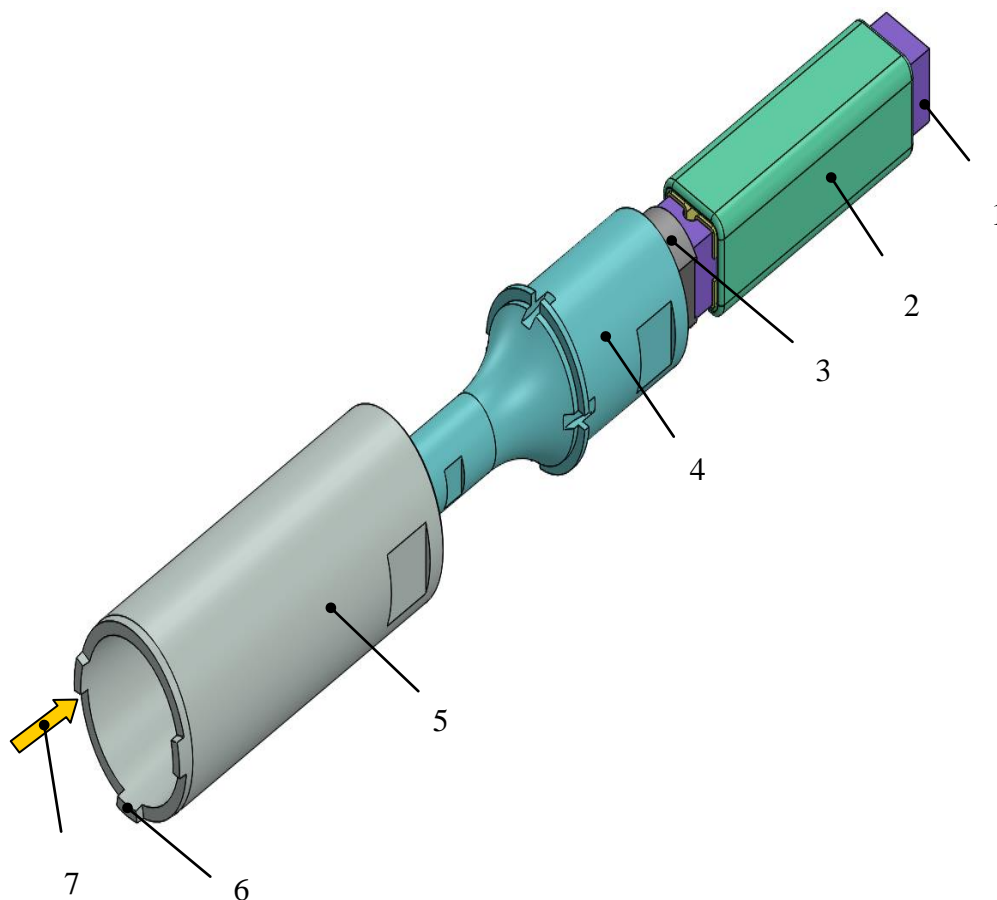


Рисунок 4. – Общий вид УЗКС для трехточечной ультразвуковой сварки: 1 – активный элемент (двигатель); 2 – обмотка подмагничивания-возбуждения; 3 – переходник; 4 – бустер; 5 – волновод; 6 – рабочий торец сварочного волновода; 7 – нагрузка со стороны зоны сварки

Принцип работы УЗКС заключается в следующем: на обмотку возбуждения 3 подается переменное напряжение и в этой обмотке возникает переменный ток, который в магнитострикционном материале генерирует переменное магнитное поле под действием которого магнитострикционный материал изменяет свои линейные размеры (колеблется). Таким образом, в пакете (двигателе) 1 возникают продольные механические колебания,

которые передаются согласующему бустеру 6 и волноводу-концентратору 20 и далее через его рабочий торец в зону сварки.

На рис. 5 также представлена конструкция УЗКС для ультразвуковой трехточечной сварки, но несколько конструктивно отличающееся от предыдущего. Данное УЗКС используется в разработанном устройстве ручной ультразвуковой трёхточечной сварки воздуховода к фальшполу автомобиля.

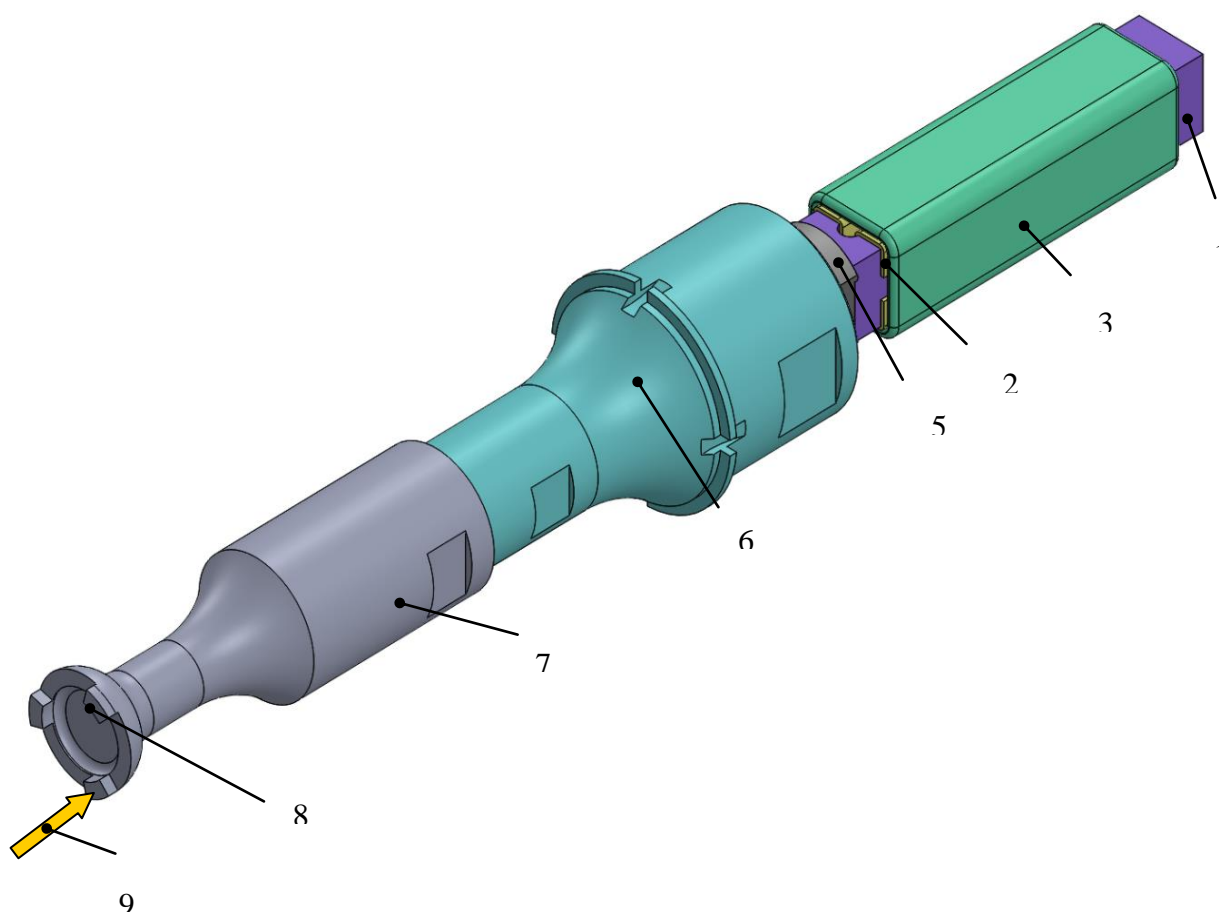


Рисунок 5. – Общий вид УЗКС для ультразвуковой трехточечной сварки: 1 – активный элемент (двигатель); 2 – щеки защитные; 3 – обмотка подмагничивания-возбуждения; 5 – переходник; 6 – бустер; 7 – волновод; 8 – рабочий торец сварочного волновода; 9 – нагрузка со стороны зоны сварки

В процессе УЗС рабочий торец волновода 8 колеблется и передаёт колебания через привариваемую пластмассу в зону контакта свариваемых

пластмасс. В результате трения и деформирования взаимодействующих поверхностей пластмасс в контактной зоне повышается температура до их плавления.

1.3 Выводы по разделу

На основе анализа конструкторских решений в области проектирования ультразвуковых колебательных систем и их технологического назначения можно сделать вывод о наличии разнообразных конструктивных исполнений ультразвуковых колебательных систем под различные технологические задачи. Причем конструктивно они могут отличаться как и по используемой форме ультразвуковых волноводов, так и по конструкции рабочих торцев волноводов. Учитывая широкую область применения ультразвуковых технологий можно сделать заключение о существенном многообразии ультразвуковых волноводов. Таким образом, с технологической точки зрения эффективным решением может стать так называемая «технологическая» унификация ультразвуковых волноводов, то есть по сути групповой технологический процесс их изготовления.

2 Разработка технологического процесса изготовления ультразвуковых волноводов

2.1 Анализ конструктивного исполнения ультразвуковых волноводов

Рассмотрим конструктивные особенности ультразвуковых волноводов, используемых в разрабатываемых в ТГУ ультразвуковых сварочных аппаратах. На рис. 6 представлены волноводы с экспоненциальным профилем.

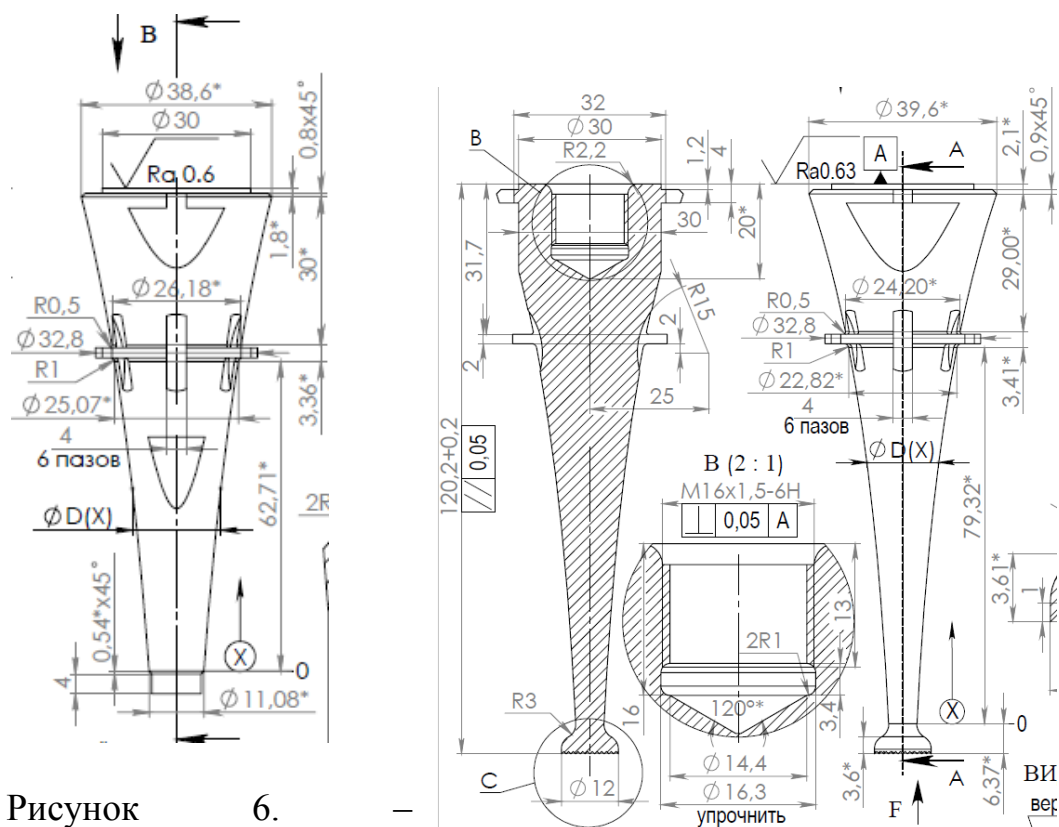


Рисунок 6.

Конструкции волноводов с экспоненциальным профилем

Особенностью конструктивного исполнения таких волноводов является наличие буртика узла нулевого смещения, за который происходит его крепление в устройстве. С технологической точки зрения наличие такого буртика не является рациональным, так как требует проектирование специальной разрезной оправки для установки детали с целью ее обработки с

другой стороны. Однако, как будет показано далее, на оборудовании с ЧПУ возможно произвести обработку контура детали за один установ.

На рис. 7 представлены конструкции ступенчатых волноводов.

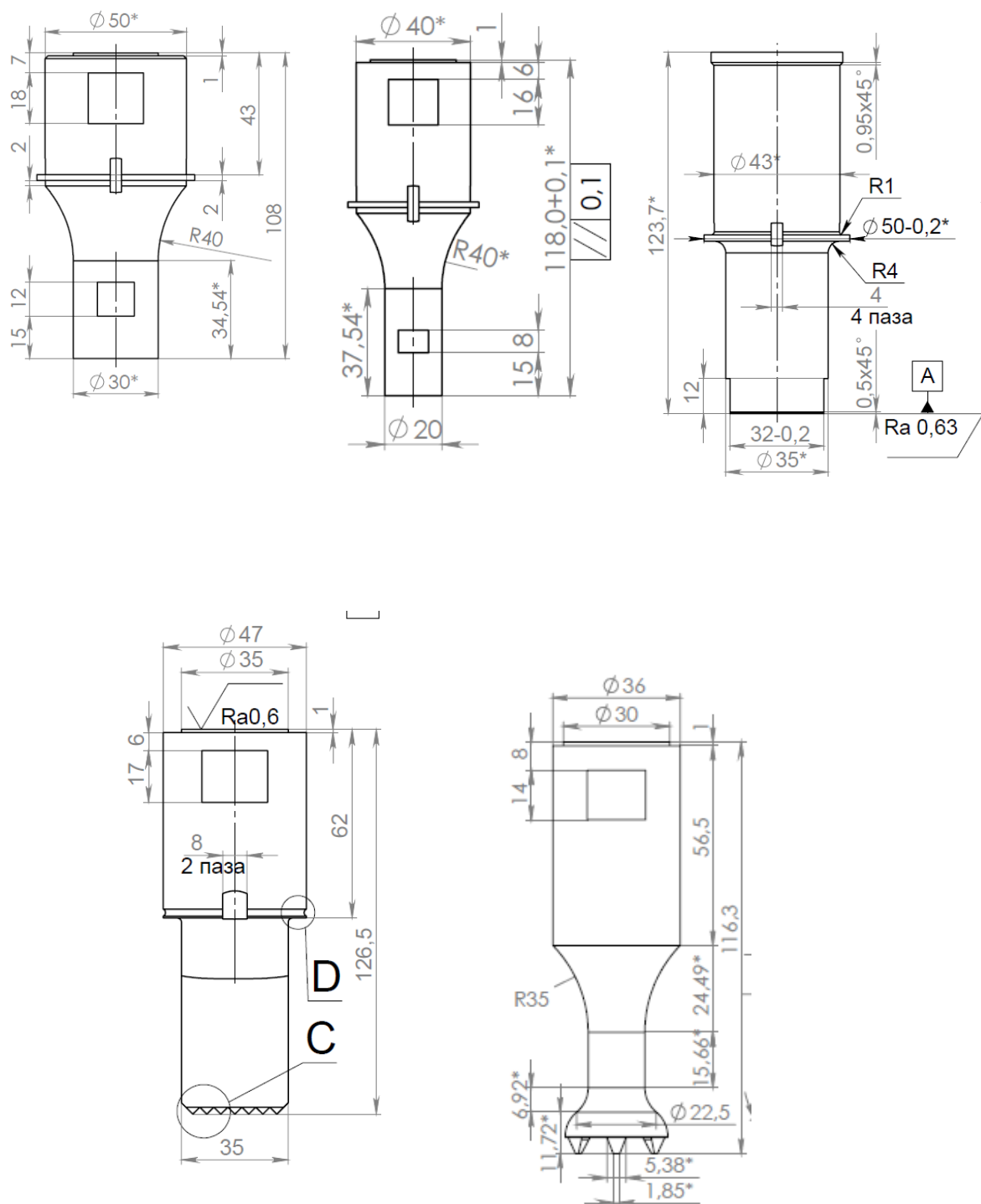


Рисунок 7. – Конструкции волноводов ступенчатой формы

Как можно отметить в конструкции таких волноводов в некоторых случаях также имеется наличие буртика нулевого смещения, но с технологической точки зрения обработка детали не вызывает затруднений.

Анализ технических требований, предъявляемых к ультразвуковым волноводам (рис. 6, 7), показывает, что особые требования предъявляются к входному торцу волноводом (торец с большим диаметром), так как в этом месте при сборке необходимо обеспечить создание акустического контакта, в связи с чем закладывается требование по плоскостности поверхности, ее параллельности и шероховатости. Кроме того, после механической обработки в технологии изготовления необходимо предусматривать операцию шабрения торца с целью ее подгонки к торцу резьбового переходника, припаянного в магнитострикционному преобразователю. Требования к точности изготовления ультразвуковых волноводов находятся в пределах 10-12 квалитетов и вполне могут быть достигнуты на последовательных операциях черновой и чистовой токарной обработки.

2.2 Проектирование технологических операций токарной обработки на станке с ЧПУ

Проектирование технологических операций механической обработки волноводов рассмотрим на примере ультразвукового волновода, используемого в УЗКС со сменными насадками (рис. 8). Как было выше отмечено, данный тип волноводов используется в технологических аппаратах для ультразвуковой сварки пластиков и других ультразвуковых устройств, где требуется создать точечный контакт со средой. Волновод изготавливается из титанового сплава ВТЗ-1 ГОСТ 19807-74. Из анализа чертежа следует, что деталь полностью можно обработать на токарной операции в два технологических установа на станке с ЧПУ.

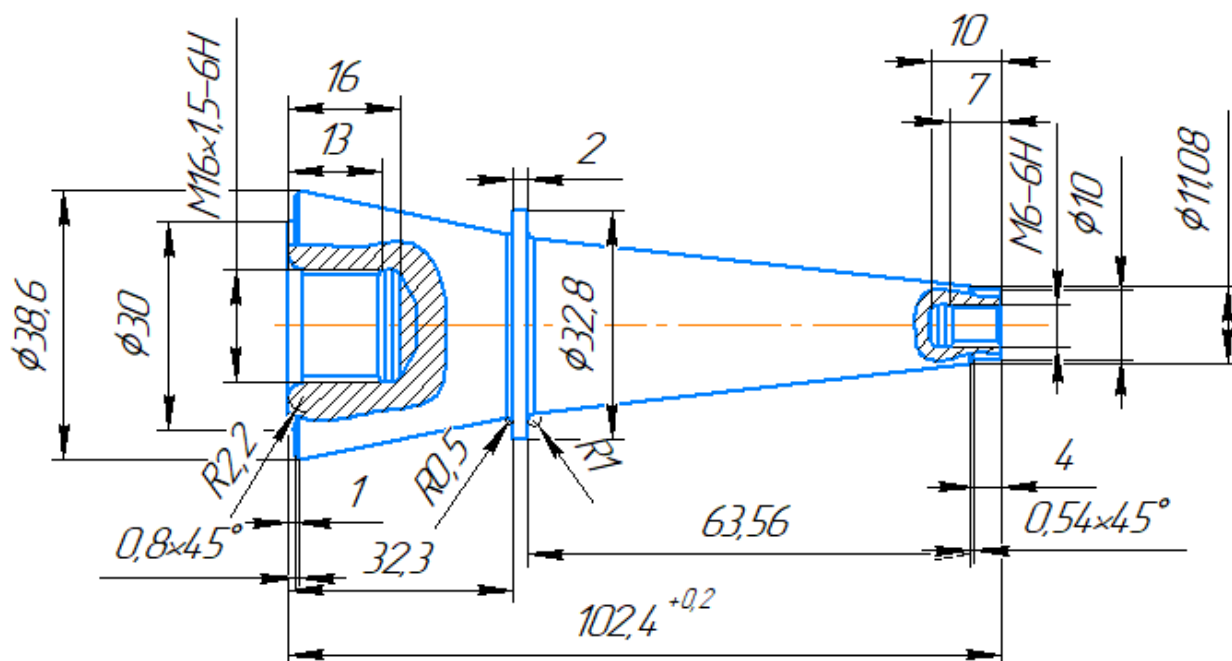


Рисунок 8. – Чертеж ультразвукового волновода с экспоненциальным профилем

В качестве заготовки используем сортовой прокат титанового сплава BT3-1 ϕ 40 мм. Разработку технологического процесса изготовления волноводов будем производить на базе имеющегося в лаборатории станка с ЧПУ модели 16Б16П с системой ЧПУ FlexNC «Интеграл».

На Установе А, инструмент в позиции I на токарном станке 16Б16П осуществляем подрезку торца заготовки на следующих режимах резания [4, 5]: скорость резания 60 м/мин, частота вращения шпинделя 500 об/мин, подача инструмента 0,1 мм/об, припуск на обработку 0,5 мм. В качестве инструмента используем резец токарный, державка PLCNR сечением 25X25, оснащенной режущей пластиной S/CNMG 190616 SR Sandvik. На рис 8 приведен эскиз операции.

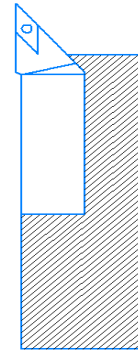
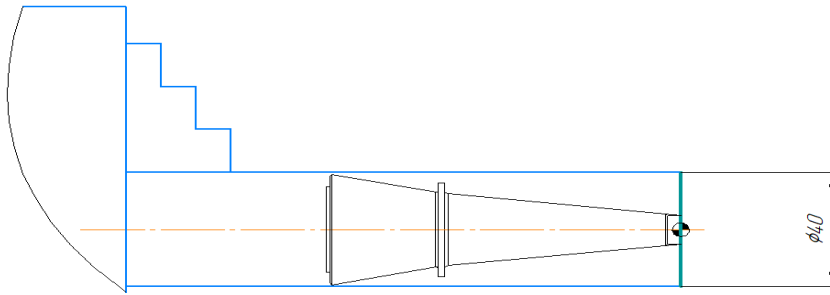


Рисунок 8. – Эскиз токарной операции. Позиция I – подрезка торца

Код управляющей программы для стойки ЧПУ FlexNC представлен на рис. 9

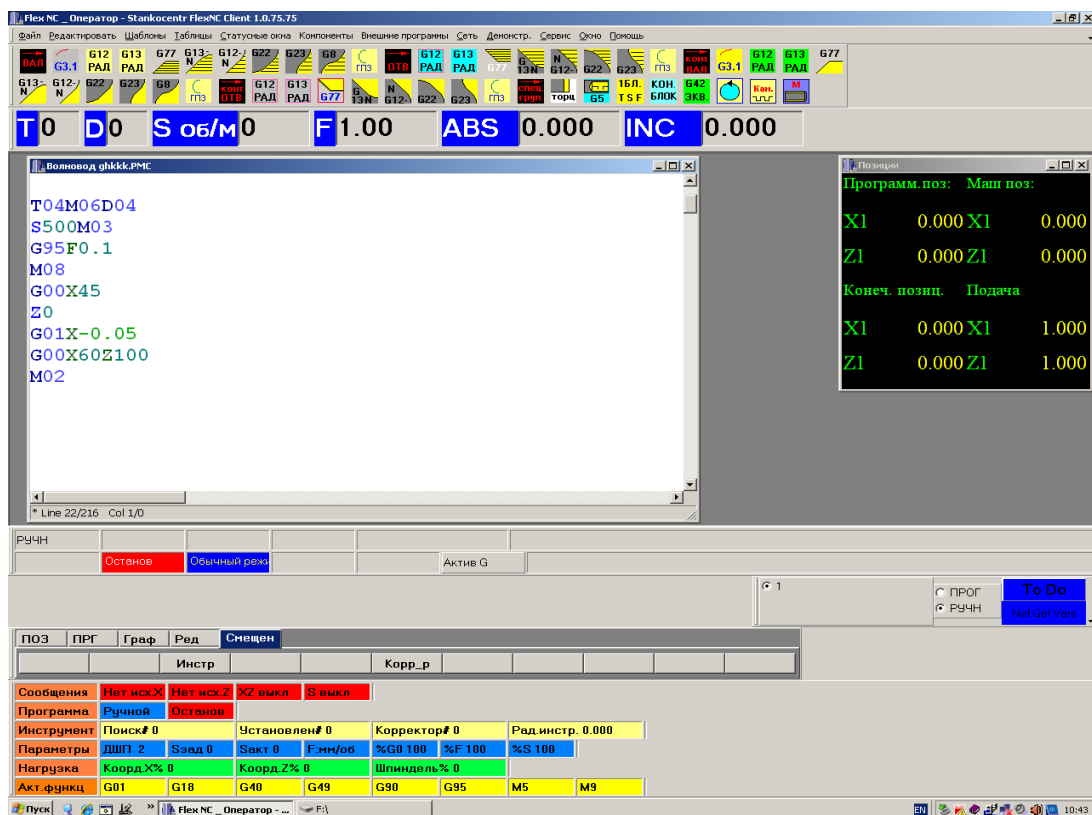


Рисунок 9. – Код управляющей программы ЧПУ

В позиции II выполняем многопроходные циклы продольной обработки. Точение производим таким образом, чтобы на последующих чистовых операциях обеспечить циклы интерполяции по контуру волновода с минимальным припуском. Обработку производим на следующих режимах: скорость резания 60 м/мин; частота вращения шпинделя 500 об/мин, продольная подача инструмента 0,1 мм/об, припуск на обработку 0.5 мм. В качестве инструмента используем резец токарный, державка PLCNR сечением 25X25, оснащенная режущей пластиной S/CNMG 190616-SM Sandvik. Эскиз операции приведен на рис. 10. Шаблон управляющей программы представлен на рис. 11.

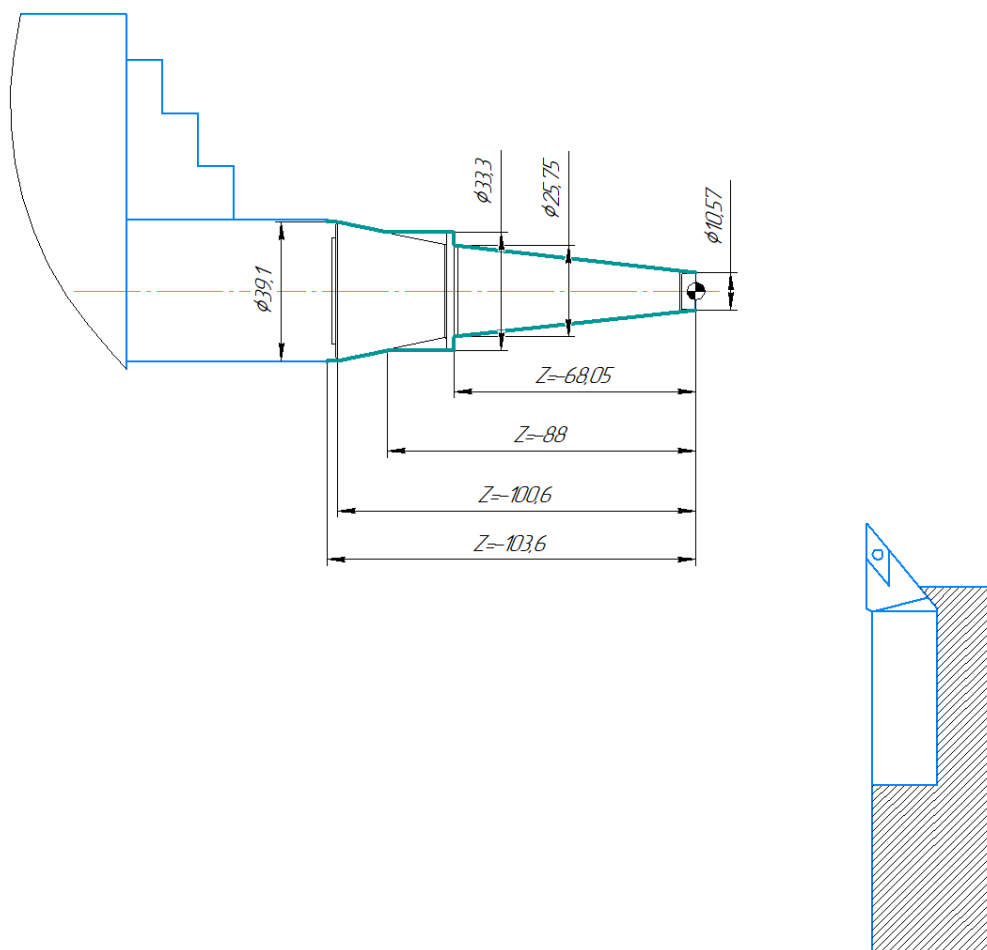


Рисунок 10. – Эскиз операции продольной обработки

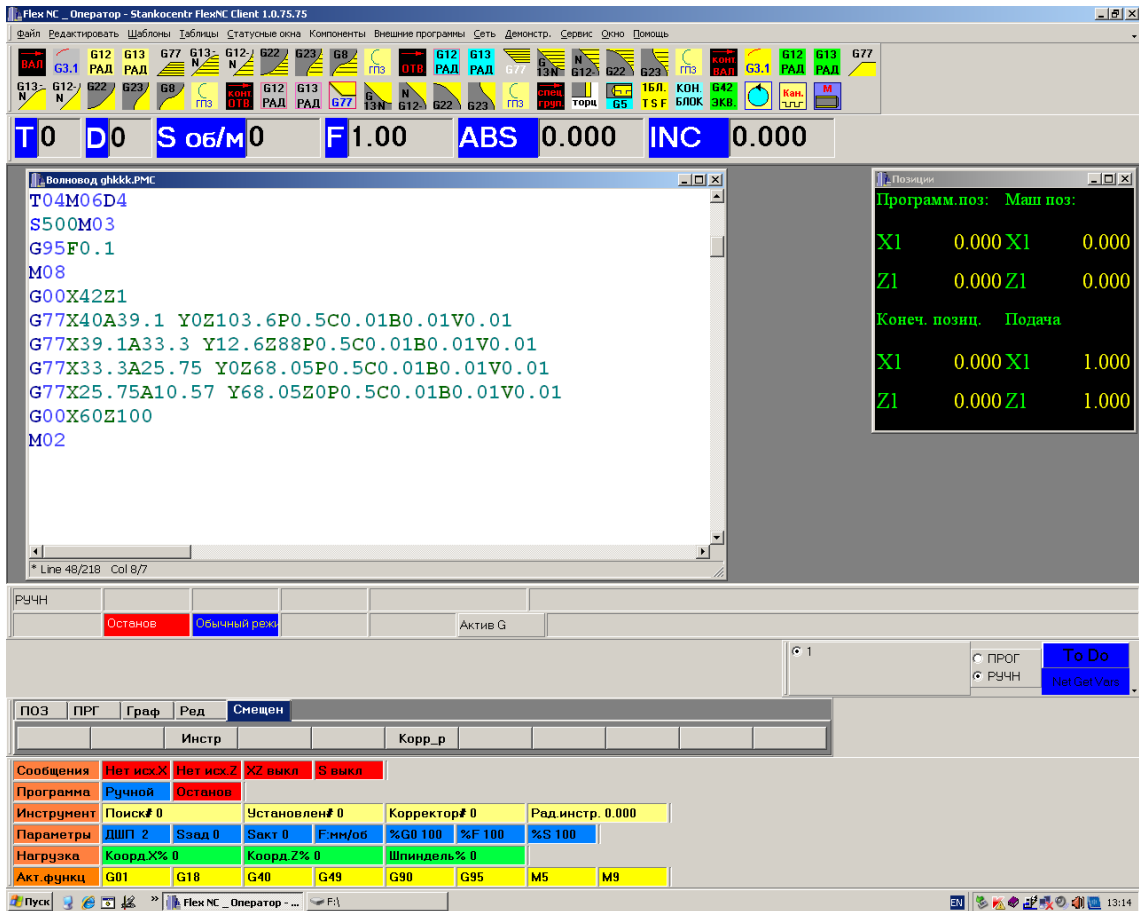


Рисунок 11. – Шаблон управляющей программы в системе ЧПУ

В данном шаблоне использованы следующие циклы многопроходной обработки:

Цикл G77: G77X40A39.1Y0Z103.6P0.5C0.01B0.01 V0.01

На данном цикле осуществляется точение заготовки диаметром $X=40$ мм до диаметра $A=39.1$ мм; длина конуса $Y=0$ мм; длина проточки $Z=103.6$ мм; глубина резания $P=0,5$ мм; приращение по оси X для исходной точки цикла $S=0.01$ мм; приращение по оси Z для исходной точки цикла $B=0.01$ мм; локальное смещение по оси Z от торца детали $V=0.01$ мм

Цикл G77X39.1A33.3Y12.6Z88P0.5C0.01B0.01 V0.01 - точение заготовки диаметром $X=39.1$ мм до диаметра $A=33.3$ мм; длина конуса $Y=12.6$ мм; длина проточки $Z=88$ мм; глубина резания $P=0,5$ мм; приращение по оси X для

исходной точки цикла $C=0.01\text{мм}$; приращение по оси Z для исходной точки цикла $V=0.01\text{мм}$; локальное смещение по оси Z от торца детали $V=0.01\text{мм}$
Цикл $G77X33.3A25.75Y0Z68.05P0.5C0.01B0.01 V0.01$ точение заготовки диаметром $X=33.3\text{мм}$ до диаметра $A=25.75\text{мм}$; длина конуса $Y=0\text{мм}$; длина проточки $Z=68.05\text{мм}$; глубина резания $P=0,5\text{мм}$; приращение по оси X для исходной точки цикла $C=0.01\text{мм}$; приращение по оси Z для исходной точки цикла $V=0.01\text{мм}$; локальное смещение по оси Z от торца детали $V=0.01\text{мм}$
Цикл $G77X25.75A10.5Y68.05Z0P0.5C0.01B0.01 V0.01$ точение заготовки диаметром $X=25.75\text{мм}$ до диаметра $A=10.57\text{мм}$; длина конуса $Y=68.05\text{мм}$; длина проточки $Z=0\text{мм}$; глубина резания $P=0,5\text{мм}$; приращение по оси X для исходной точки цикла $C=0.01\text{мм}$; приращение по оси Z для исходной точки цикла $V=0.01\text{мм}$; локальное смещение по оси Z от торца детали $V=0.01\text{мм}$.

На следующей позиции инструмента (позиция III) выполняем продольное чистовое точение предварительного контура волновода. Предварительный контур волновода представлен в виде конических поверхностей. Токарную обработку производим на следующих режимах: скорость резания 60 м/мин ; частота вращения шпинделя 500 об/мин ; продольная подача инструмента $0,1\text{ мм/об}$; припуск на обработку $0,25\text{ мм}$.

В качестве инструмента используем резец токарный, державка PLCNR сечением $25X25$, оснащенная режущей пластиной S/CNMG 190616-SM Sandvik. Эскиз операции приведен на рис. 12. Шаблон управляющей программы на рис. 13.

В данном шаблоне использованы следующие циклы многопроходной обработки:

$G77X25.25A10.07Y68.05Z0P0 C2K1$ точение заготовки диаметром $X=25.25\text{мм}$ до диаметра $A=10.07\text{мм}$; длина конуса $Y=68.05\text{мм}$; длина проточки $Z=0\text{мм}$; глубина резания $P=0$; приращение по оси X для исходной точки цикла $C=2\text{мм}$; первый блок обработки $K=1$

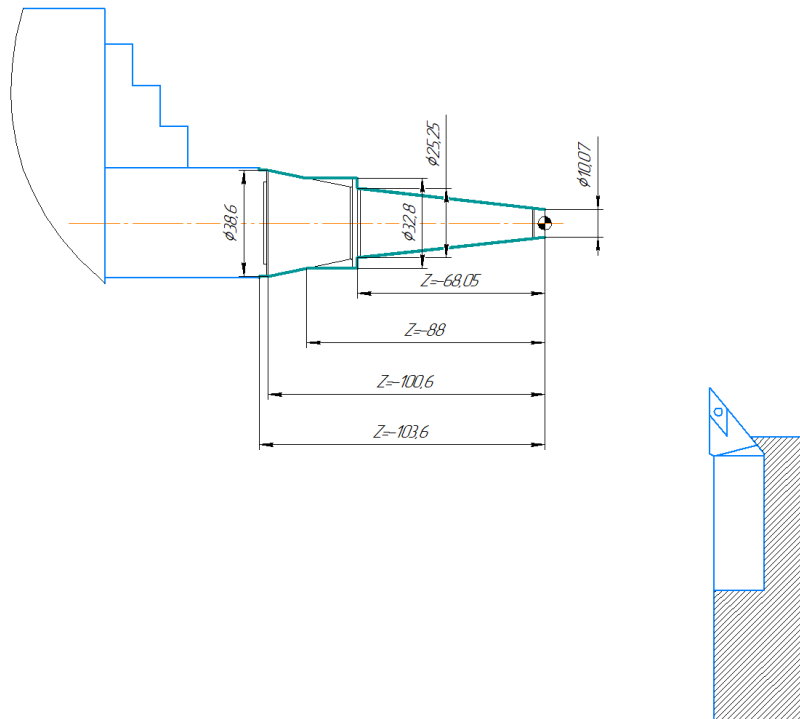


Рисунок 12. – Эскиз токарной операции. Позиция III – чистовое точение

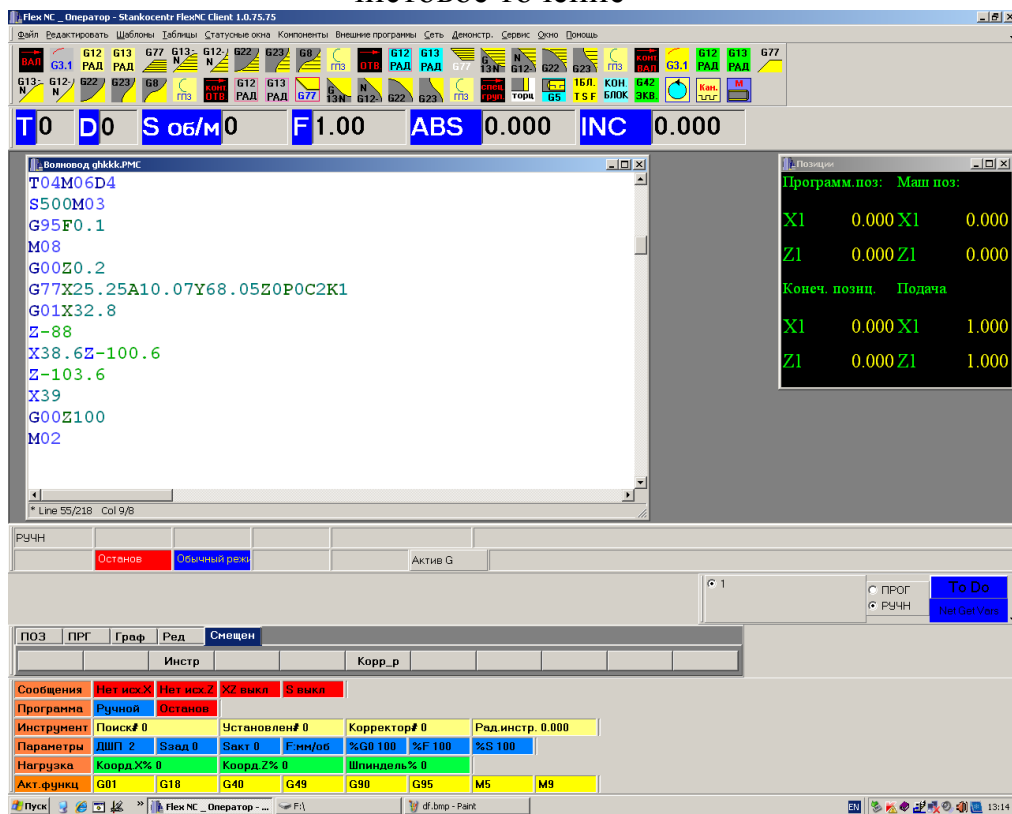


Рисунок 12. – Шаблон управляющей программы

На позиции IV производим окончательную обработку контура волновода с одной стороны (до буртика нулевого смещения). При этом аппроксимацию экспоненциального участка выполняем дугами окружности и в системе ЧПУ подключаем цикл круговой интерполяции. Обработку производим на следующих режимах: скорость резания $V=80$ м/мин; частота вращения шпинделя 500 об/мин, продольная подача инструмента 0,1 мм/об; максимальный припуск на обработку 0,5 мм. В качестве режущего инструмента используем резец токарный, державка PLCNR сечением 25X25, оснащенная режущей пластиной S/CNMG 190616-SM Sandvik. Эскиз операции приведен на рис. 14. Шаблон управляющей программы на рис. 15.

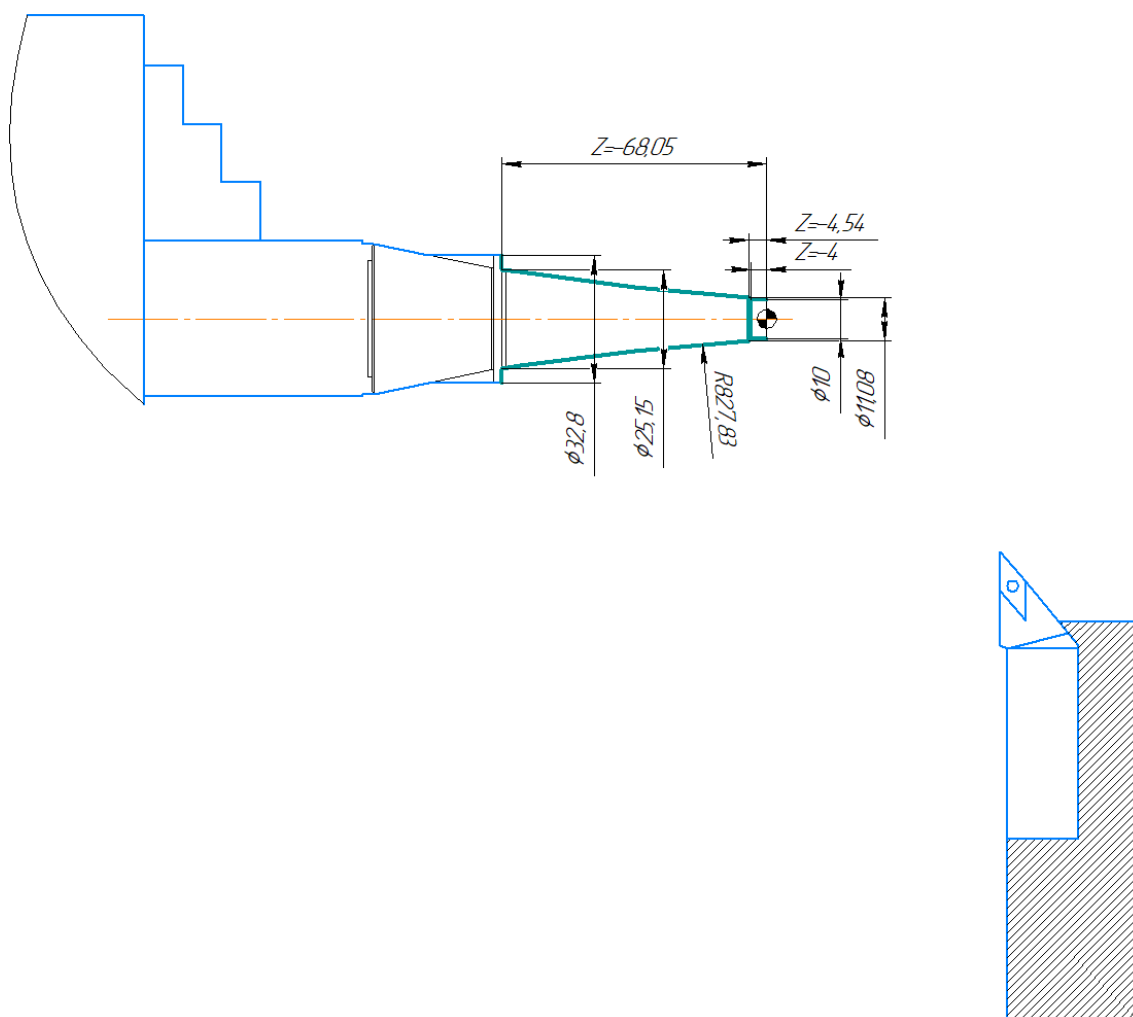


Рисунок 14. – Эскиз токарной операции. Позиция IV – обработка экспоненциального контура волновода

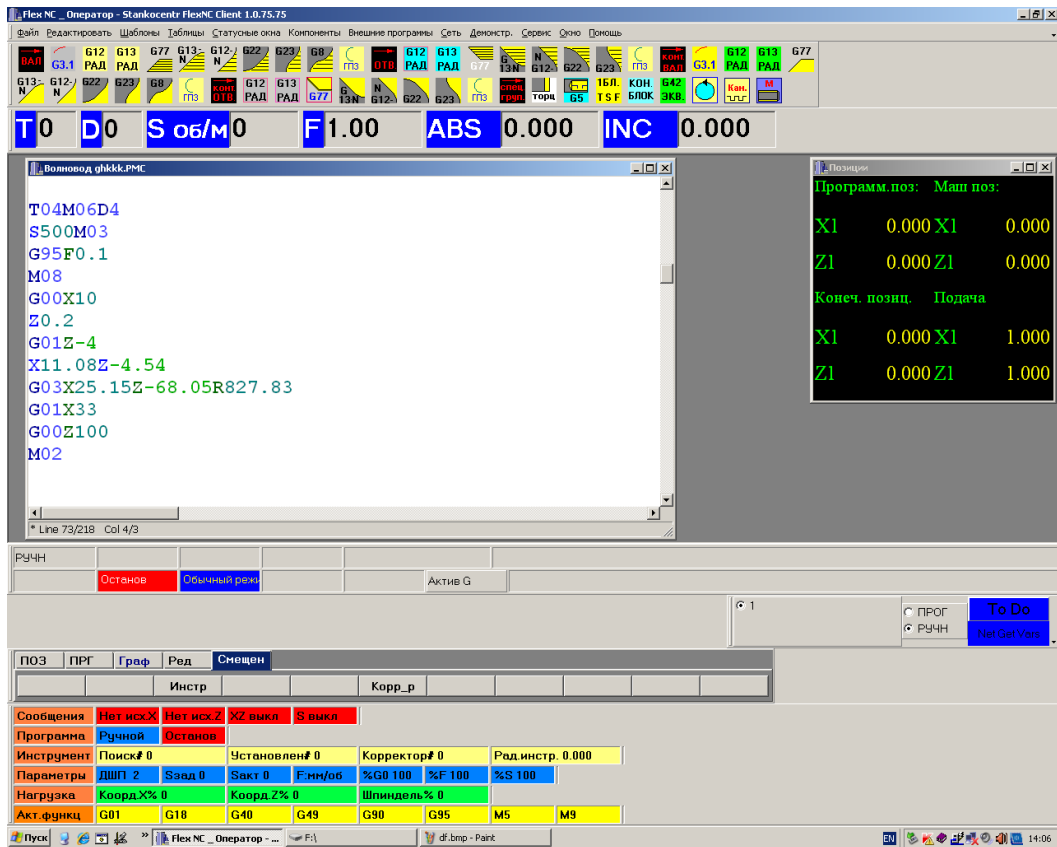


Рисунок 15. – Шаблон управляющей программы

В данном шаблоне использован цикл круговой интерполяции:

G03X25.15Z-68.05R827.83 обработка неполного радиуса против часовой стрелки на диаметр $X=25.15$ мм, длину $Z=68.05$ мм, радиусом $R=827.83$.

На позиции V производим вспомогательную обработку с целью формирования на волноводе канавок под заход инструмента на последующей чистовой контурной обработки экспоненциального контура с другой стороны буртика нулевого смещения. Обработку производим на следующих режимах: частота вращения шпинделя 300 об/мин, подача инструмента 0,01 мм/об. Эскиз операции приведен на рис. 16. Шаблон управляющей программы на рис. 17.

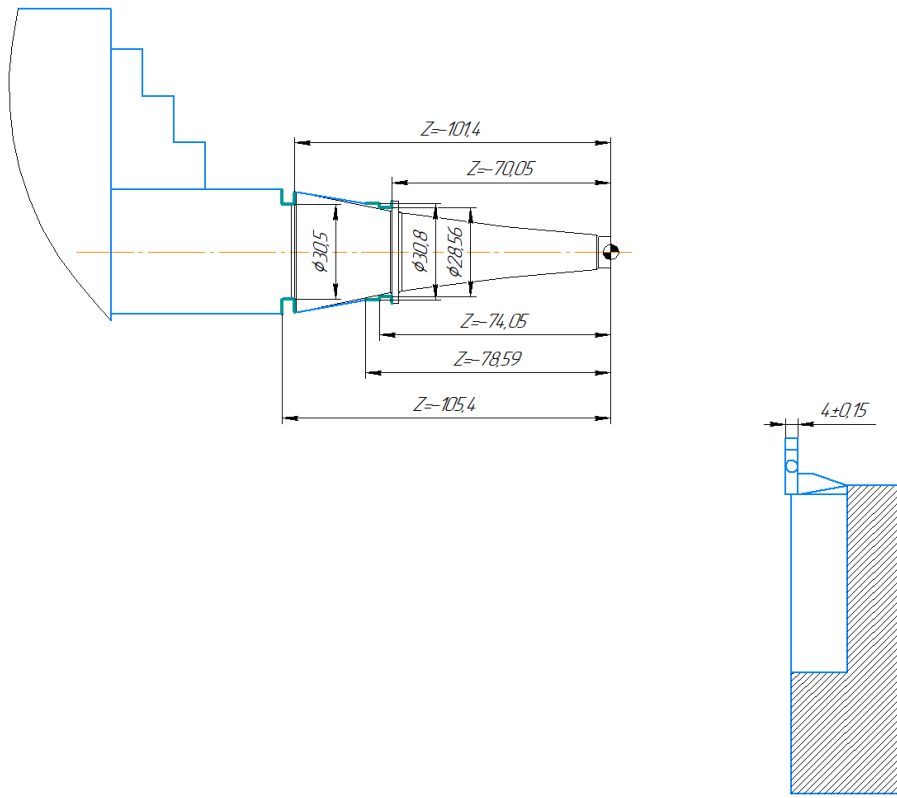


Рисунок 16. – Эскиз токарной операции. Позиция V. Канавочная обработка

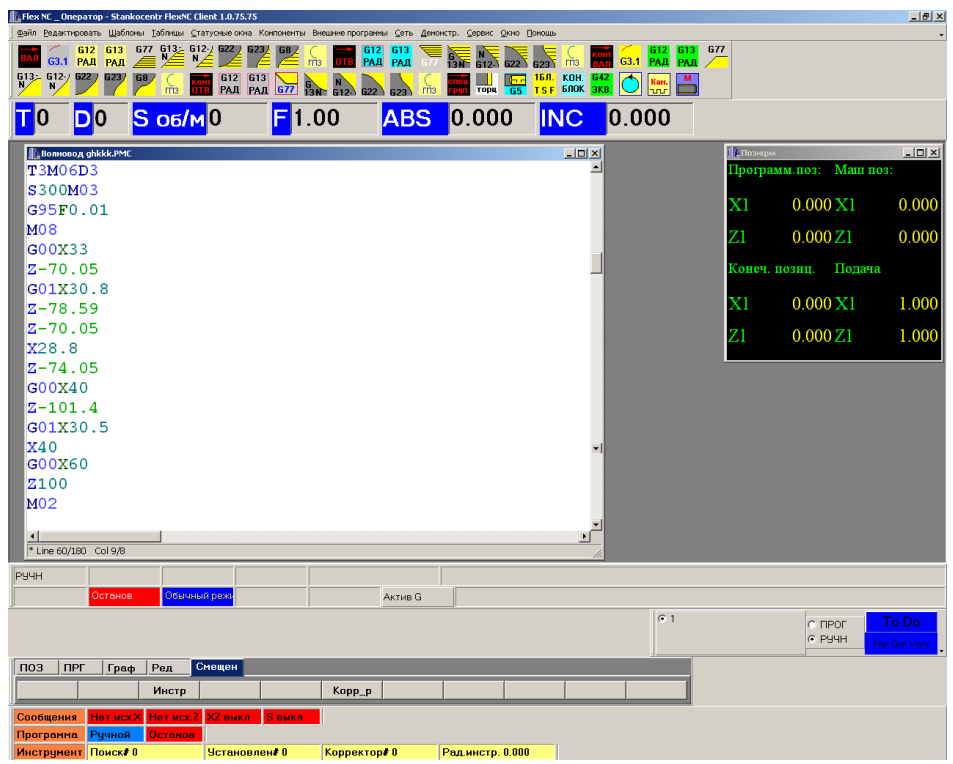


Рисунок 17. – Шаблон управляющей программы

На позиции VI выполняем чистовую контурную обработку экспоненциального профиля волновода. Обработку производим на следующих режимах: скорость резания 80 м/мин, частота вращения шпинделя 500 об/мин, подача инструмента 0,1 мм/об; припуск на обработку 0,5 мм.

Эскиз операции приведен на рис. 19. Шаблон управляющей программы на рис. 20.

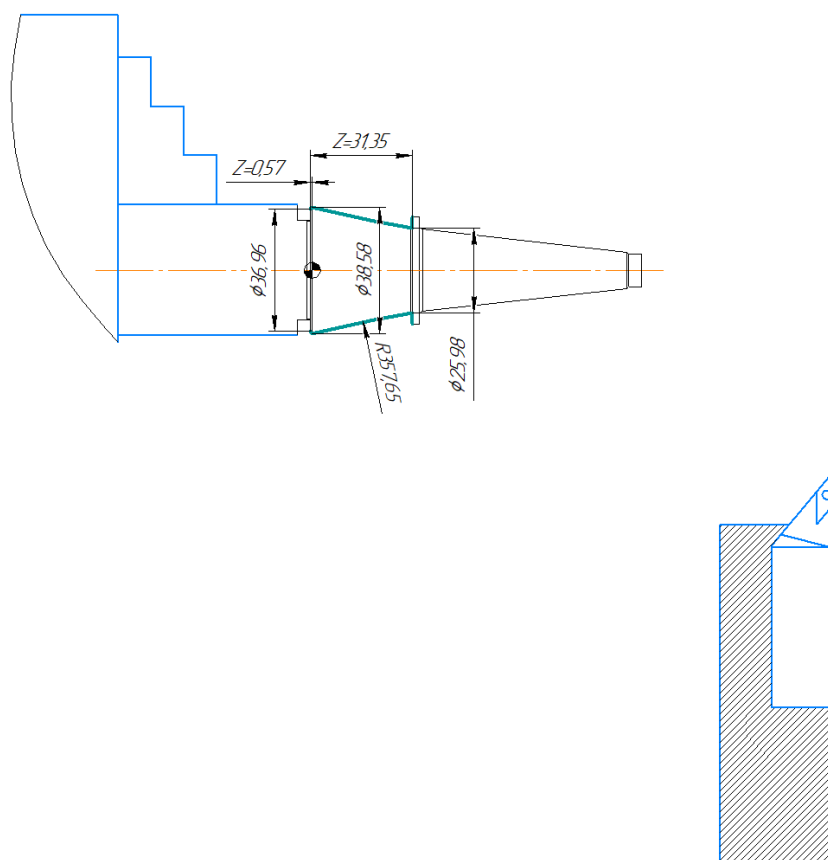


Рисунок 19. – Эскиз токарной операции. Позиция VI. Обработка экспоненциального контура волновода обратным резцом

На данной операции левым проходным резцом с механическим креплением многогранной твердосплавной пластины происходит окончательная обработка экспоненциального контура с другой стороны волновода.

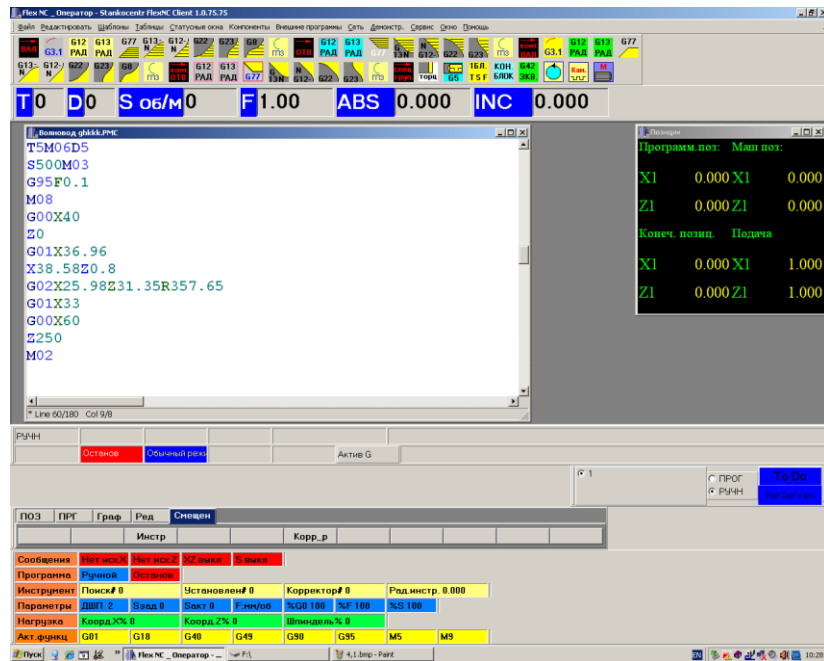


Рисунок 20. – Шаблон управляющей программы

На позиции VII производится сверление отверстия $\varnothing 5$ мм под последующее нарезание резьбы М6. Обработку производим на следующих режимах: скорость резания 80 м/мин; частота вращения шпинделя, $n= 300$ об/мин, подача сверла 0,1 мм/об. В качестве инструмента применяем цельное твердосплавное сверло CoroDrill® Delta-C 846 $\varnothing 5$ мм, твердый сплав GC1220

Эскиз операции приведен на рис. 21. Шаблон управляющей программы на рис. 22.

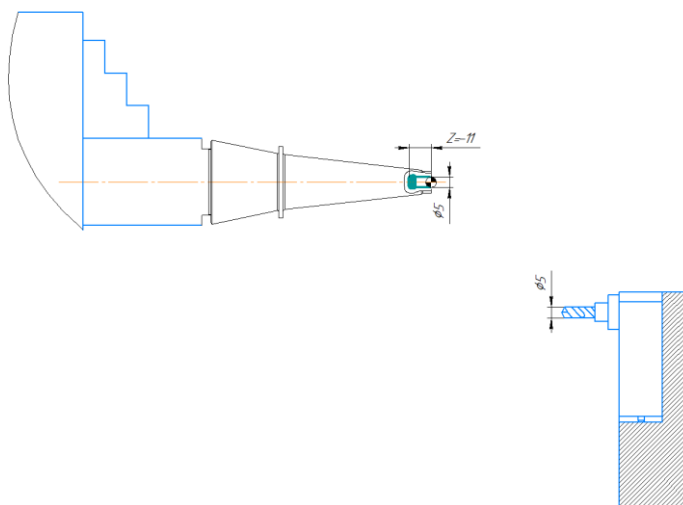


Рисунок 21. – Эскиз токарной операции. Позиция VII. Сверление отверстия $\varnothing 5$ мм

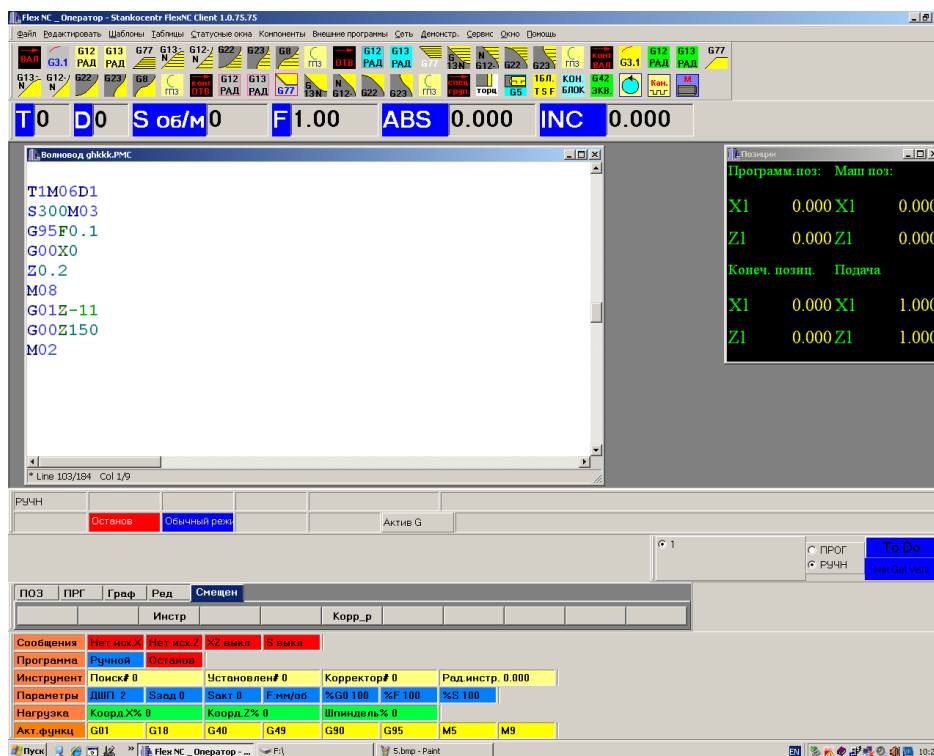


Рисунок 22. – Шаблон управляющей программы

На позиции VIII производим нарезание резьбы М6-6Н. Эскиз операции приведен на рис. 23. Шаблон управляющей программы на рис. 24.

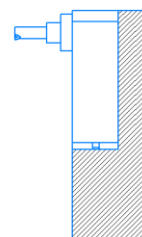
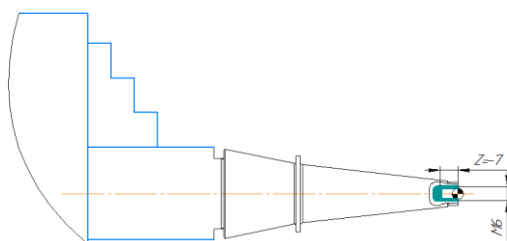


Рисунок 23. – Эскиз токарной операции. Позиция VIII. Нарезание резьбы М6-6Н

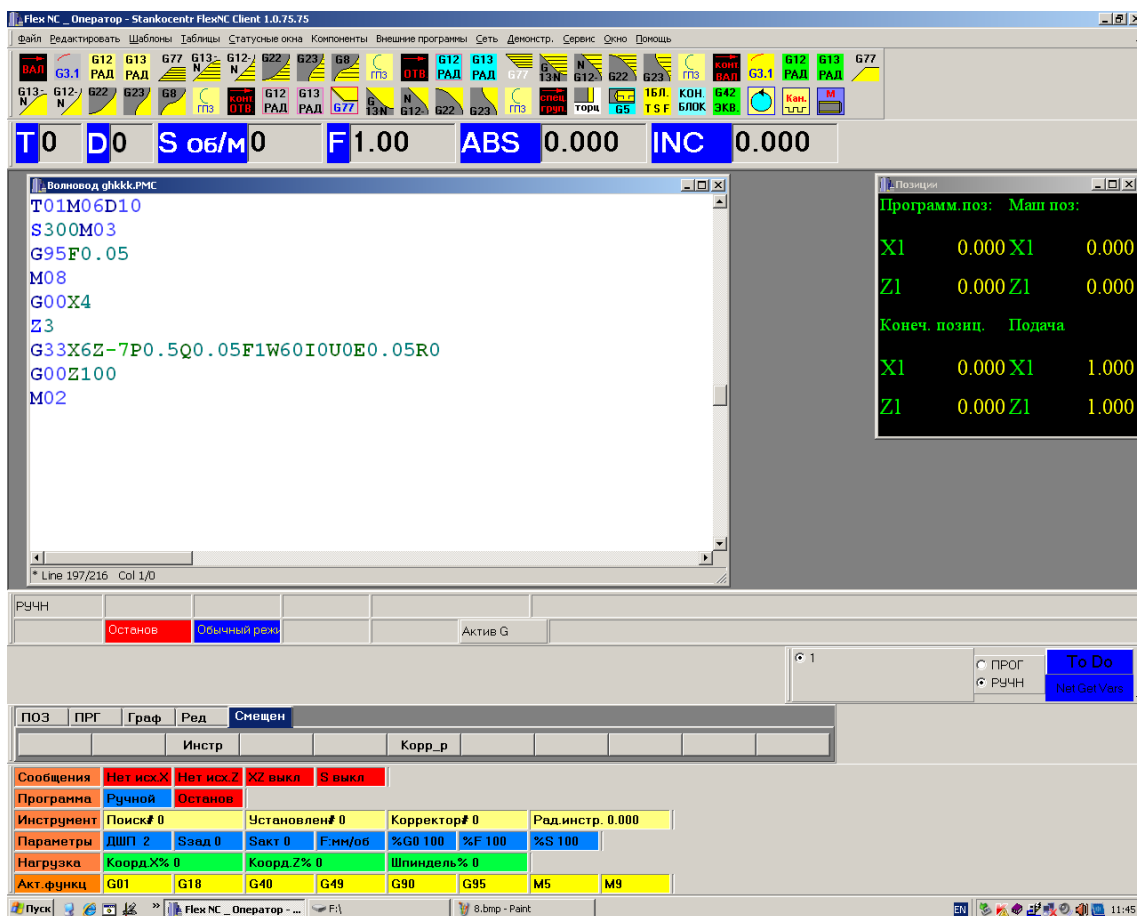


Рисунок 24. – Шаблон управляющей программы

На позиции IX производим отрезку детали. В качестве инструмента используем отрезной резец, державка 2525 BDKT R/L-SDV4C, пластина 4мм GCMN4002-GF AC530U отрезная, твердый сплав H13A. Обработку проводим на следующих режимах: частота вращения шпинделя, $n = 300$ об/мин, подача, $s = 0,05$ мм/об. Эскиз операции приведен на рис. 25. Шаблон управляющей программы на рис. 26.

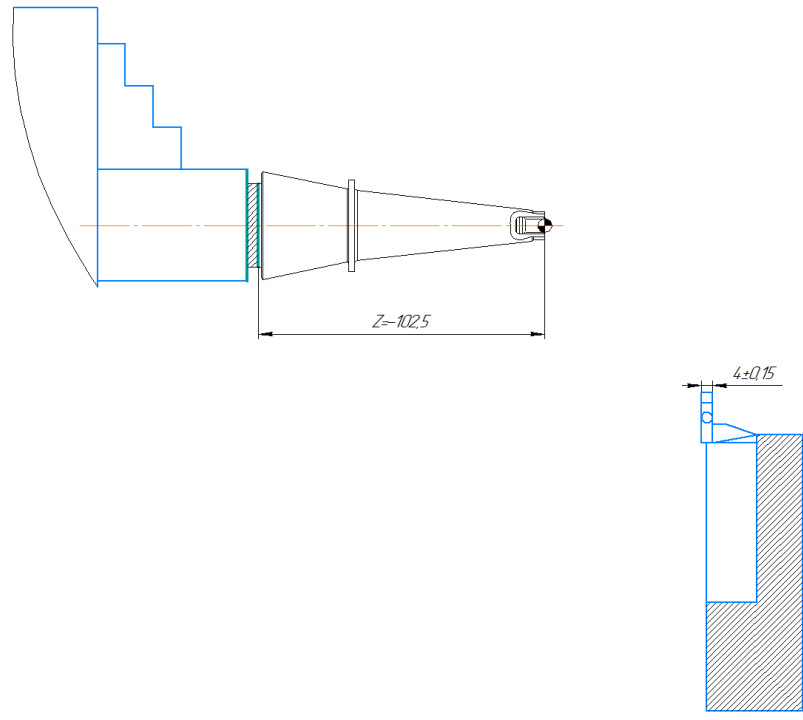


Рисунок 25. – Эскиз токарной операции. Позиция IX. Отрезка детали

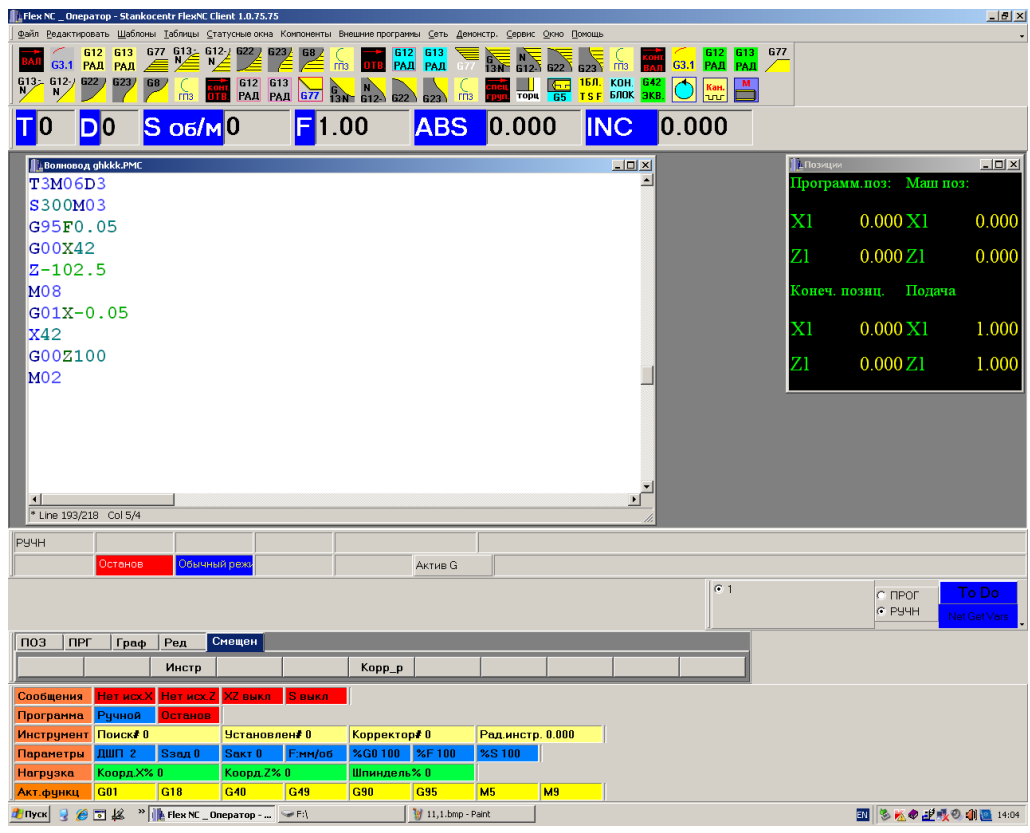


Рисунок 26. – Шаблон управляющей программы

После отрезки детали устанавливаем ее другой стороной в патроне и закрепляем за буртик нулевого смещения.

На установке Б в позиции I осуществляем последовательно два технологических перехода: подрезку торца и торцевое протачивание до диаметра. Обработку осуществляем на следующих режимах: скорость резания 80 м/мин; частота вращения шпинделя, $n=500$ об/мин; подача инструмента $s=0,1$ мм/об; припуск на обработку 0,5 мм. В качестве инструмента применяем резец токарный, державка SVXCL 2525M-16, режущая пластина DNGG 15 04 02-SGF Sandvik, твердый сплав H13A. Эскиз операции приведен на рис. 27. Шаблон управляющей программы на рис. 28.

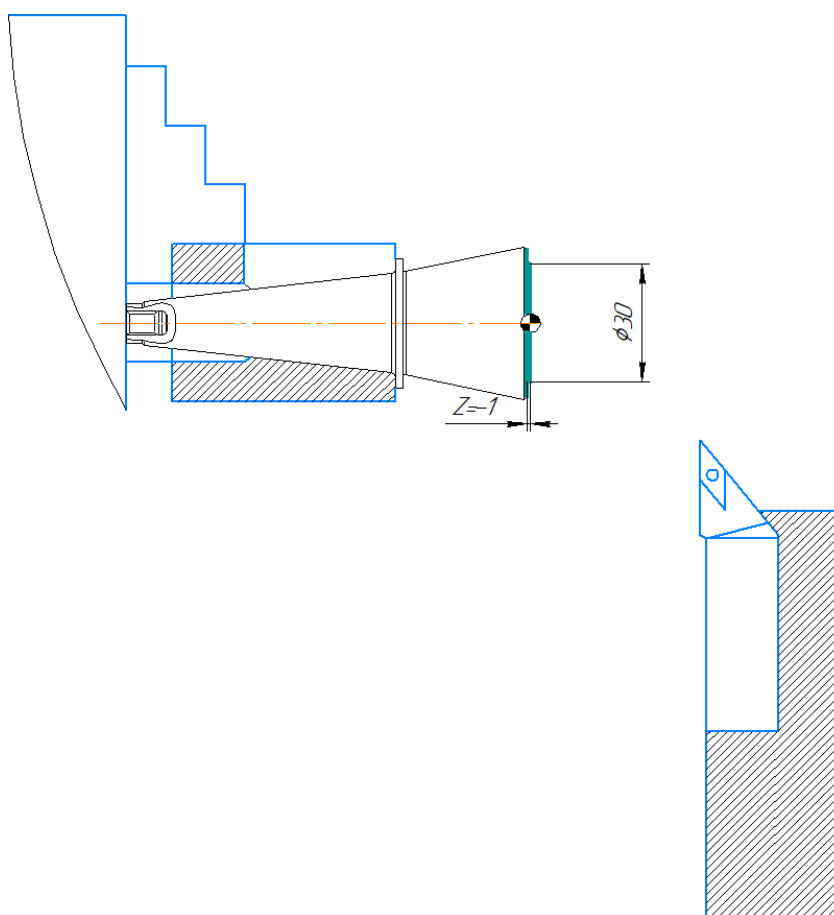


Рисунок 27. – Эскиз токарной операции. Установ Б. Позиция I.
Торцевание и проточка торца

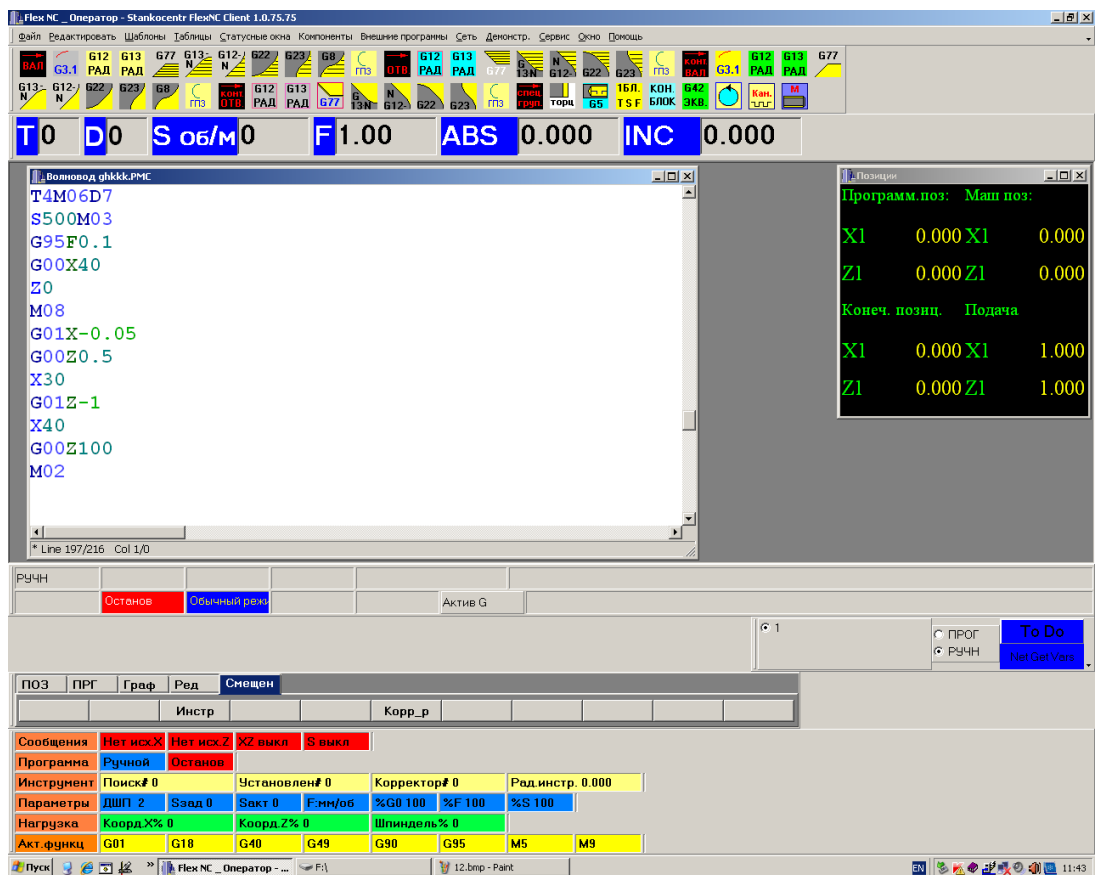


Рисунок 28. – Шаблон управляющей программы

На позиции II Установа Б производим сверление отверстия $\varnothing 12$ мм под последующую расточку. В качестве инструмента используем цельное твердосплавное сверло CoroDrill® Delta-C 846 $\varnothing 12$ мм, твердый сплав GC1220. Обработку производим на следующих режимах: скорость резания 80 м/мин, частота вращения шпинделя 250 об/мин; подача сверла 0.03 мм/об, припуск на обработку 0,5 мм. Эскиз операции приведен на рис. 29. Шаблон управляющей программы на рис. 30.

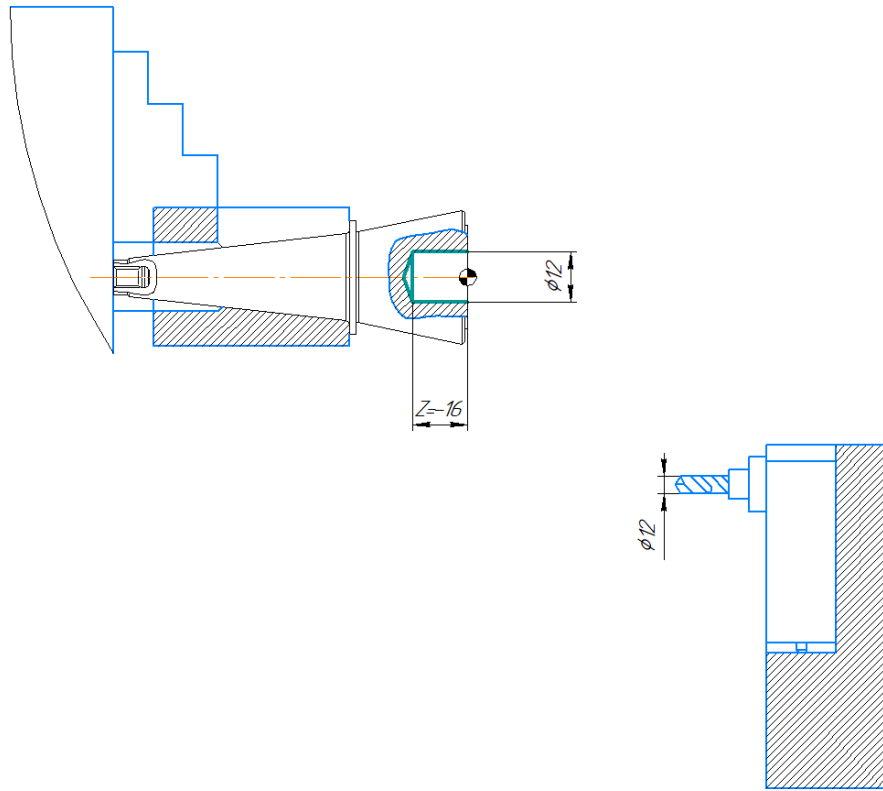


Рисунок 29. – Эскиз токарной операции. Позиция II. Сверление отверстия Ø 12 мм

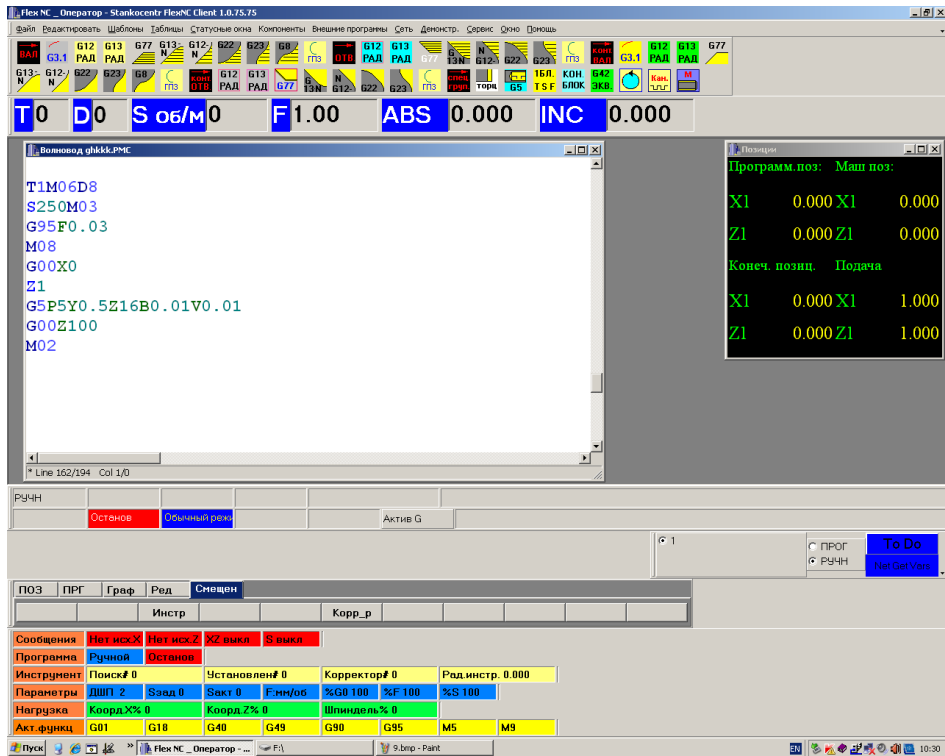


Рисунок 30. – Шаблон управляющей программы

На позиции III выполняем растачивание отверстия под резьбу M16×1,5-6H. Эскиз операции приведен на рис. 31. Шаблон управляющей программы на рис. 32.

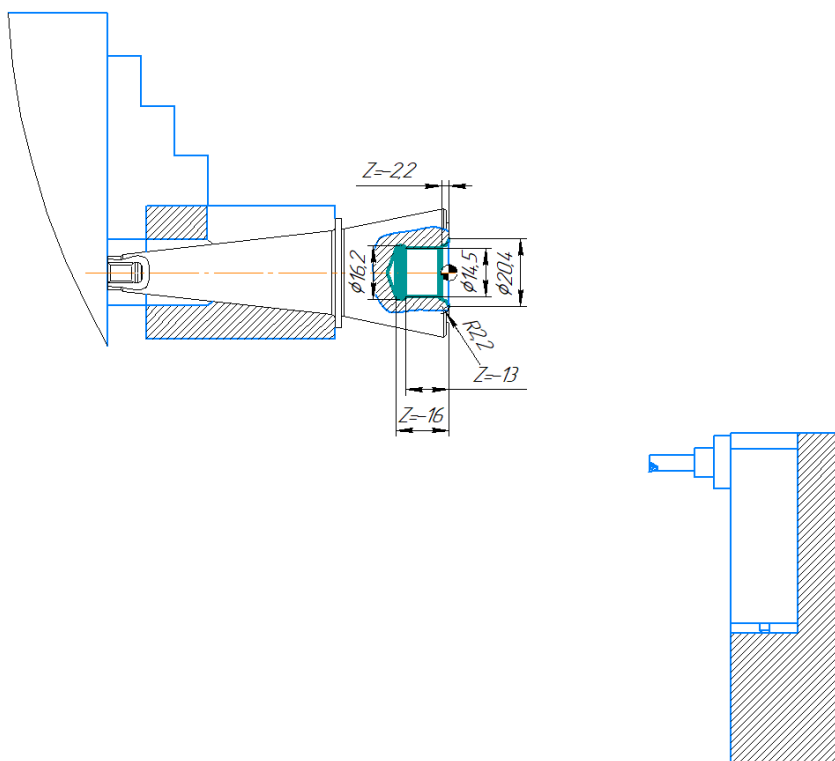


Рисунок 31. – Эскиз токарной операции. Позиция III. Растачивание отверстия под резьбу M16×1,5-6H

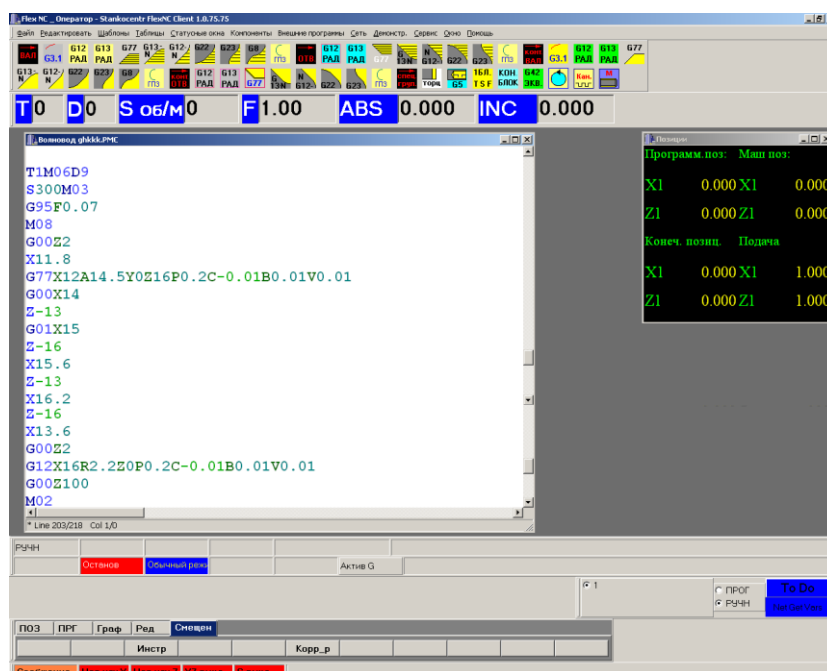


Рисунок 32. – Шаблон управляющей программы

На позиции IV производим нарезание резьбы M16×1,5-6H. В качестве инструмента используем резец резьбовой для внутренних метрических резьб, державка S12K SIR-11, режущая пластина GC1020 Sandvik, твердый сплав H13A. На данной позиции используем цикл нарезания резьбы:

G33X16Z-13P0.75Q0.1F1.5W60 I0U3E0.05R0 - нарезание резьбы, наружный диаметр резьбы X=16мм, конечная координата длины резьбы Z=13мм, глубина резьбы P=0.75мм, глубина съема первого прохода Q=0.1мм, шаг резьбы F=1.5мм, угол резьбы W=60°, сбеги резьбы I=0мм, число чистовых проходов U=3, минимальный сьем резца E=0.05мм, угол конусной резьбы R=0

Эскиз операции приведен на рис. 33. Шаблон управляющей программы на рис. 34.

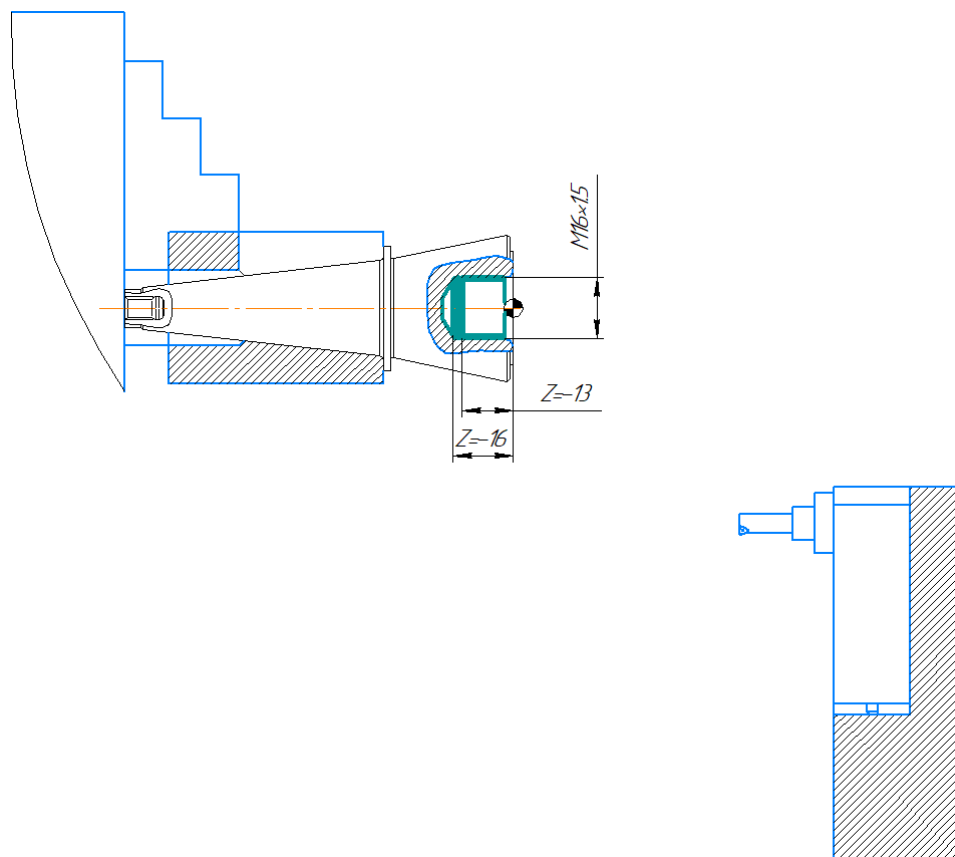


Рисунок 33. – Эскиз токарной операции. Позиция IV. Нарезание резьбы M16×1,5-6H

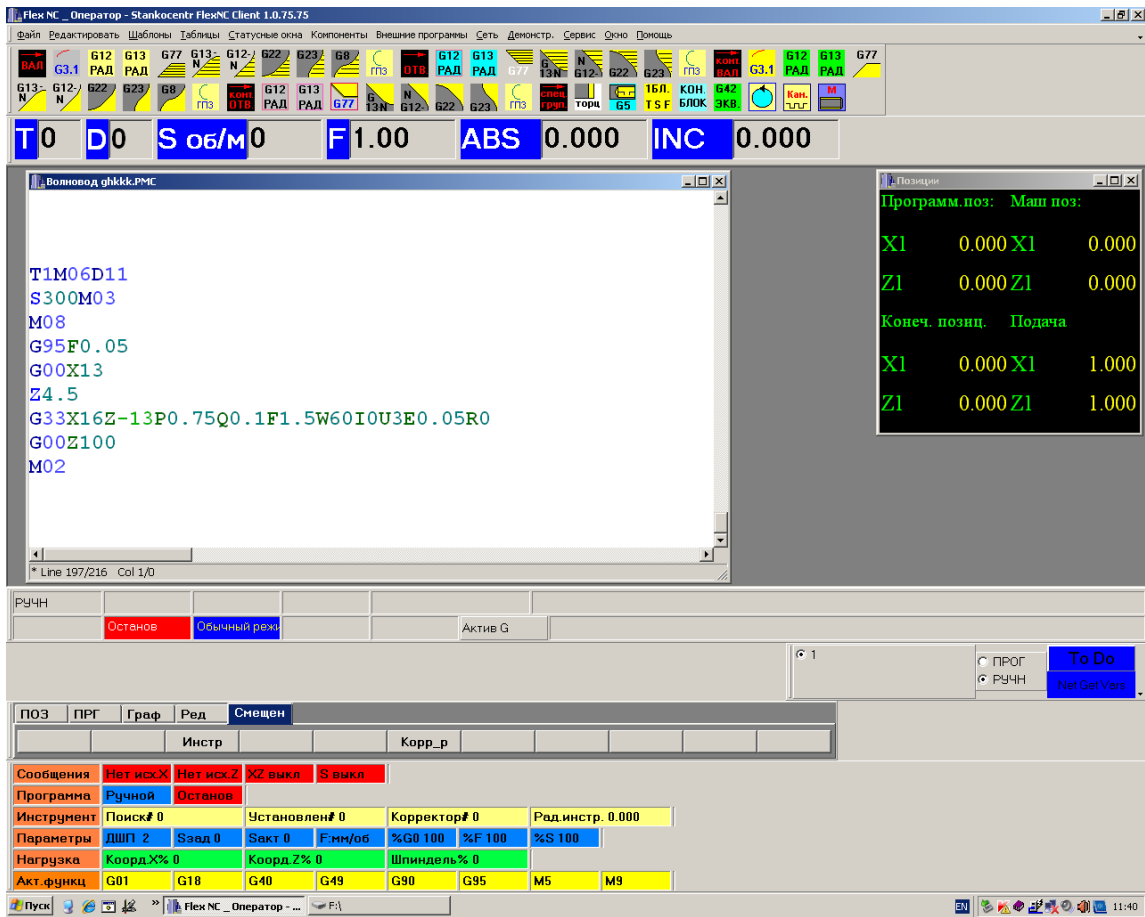


Рисунок 34. – Шаблон управляющей программы

2.3. Выводы по разделу

С применением современных систем ЧПУ разработаны шаблоны управляющих программ для каждой инструментальной позиции, выполняемой на станке. Это позволяет для различных конструктивных исполнений ультразвуковых волноводов при необходимости выполнять корректировку шаблона, изменяя конструктивные размеры волновода и генерировать код управляющей программы.

3. Безопасность и экологичность работы

3.1. Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Наименование технического объекта выпускной квалификационной работы – производственный участок в лаборатории А-124 «Системы ЧПУ», оснащенный токарным станком с ЧПУ модели 16Б16П и системой ЧПУ Flex NC «Интеграл».

Таблица 1. - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	Механическая токарная обработка ультразвуковых волноводов на станке с ЧПУ	Токарная с ЧПУ. Установка-снятие заготовки, установка режущих инструментов, наладка станка, автоматическая обработка заготовки по программе с ЧПУ. Также производится удаление стружки	Оператор станков с ЧПУ, наладчик станков с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ Модель 16Б16Т1С1, Система ЧПУ Flex NC, 3-х кулачковый самоцентрирующийся патрон	Смазочные материалы, гидравлические масла, сжатый воздух, эмульсия Укринол-1 3-5 %; Обработка титанового сплава ВТ3-1, дюраль алюминия Д16Т, конструкционной стали 30ХГС.

3.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Таблица 2. – Идентификация профессиональных рисков

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и/или вредный производственный фактор	Источник опасного и/или вредного производственного фактора
1	Токарная с ЧПУ. Установка заготовки, установка режущих инструмента, наладка станка, автоматическая обработка заготовки по программе с ЧПУ.	Шум, подвижные части оборудования, стружка, режущие и колющие предметы. Электричество	Токарный станок с ЧПУ Модель 16Б16Т1С1. Розетка 380 В.

3.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3. – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

№ п/п	Опасный и/или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и/или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	Подвижные части оборудования, стружка, СОЖ	Защитные козырьки, раздвижные двери, ограждение станка коробчатого типа	роба; ботинки, перчатки, очки
2	Шум	Меры по снижению шума по ГОСТ 12.1.003-83.	-
3	Электрический ток	Деревянные решетки	Диэлектрическая обувь
4	Стружка	Стружколоматель, , крючок	Руковицы

3.4 Обеспечение противопожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

В данном разделе проведем идентификацию опасных факторов пожара (таблица 4)

3.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Таблица 4. – Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п/п	Участок, подразделение	Станочное оборудование	Класс пожароопасности	Взрывоопасные факторы пожара	Сопутствующие проявления взрывоопасных факторов пожара
1	Лаборатория систем ЧПУ, корпус «Химюио», А-124	Токарный станок с ЧПУ модели 16Б16П	В2	Воспламенение стружки при обработке титановых сплавов; короткое замыкание электродвигателей подач в случае попадания на их обмотку СОЖ	Наличие взрывоопасных факторов способствует вероятности создания пожароопасной ситуации

3.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению противопожарной безопасности технического объекта

Технические средства обеспечения противопожарной безопасности представлены в таблице 5

Таблица 5. – Технические средства обеспечения противопожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Стационарные противопожарные системы	Средства пожарной автоматики	Противопожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инвентарь (механизированный и немеханизированный)	Пожарные извещатели пожара.
Пожарные огнетушители ОП, УО.	Автоматические системы пожаротушения	Противопожарные извещатели; приборы приемно-контрольные пожарные	Ящик с песком, пожарные шкафы, пожарные щиты, пожарный кран.	средства защиты кожных покровов тела человека (специальные огнестойкие накидки).	штыковая лопата; пожарный топор; противопожарное полотно; конусное ведро; пожарный лом; пожарный багор.	извещатель ручной; извещатель тепловой; извещатель дымовой; извещатель пламени.

3.4.3. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Таблица 6. – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению противопожарной безопасности

Наименование технологического процесса	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Механическая токарная обработка ультразвуковых волноводов на станке с ЧПУ	<ul style="list-style-type: none"> - обучения рабочих, правилам пожарной безопасности; - разработка мероприятий и инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и о действиях людей при возникновении пожара; - разработка мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих на случай возникновения пожара и организации эвакуации людей. 	Соблюдение правил пожарной безопасности

3.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

3.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта

Таблица 7. – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технологического процесса, технологические операции, оборудование	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Механическая токарная обработка ультразвуковых волноводов на станке с ЧПУ	Токарная с ЧПУ. Установка-снятие заготовки, установка режущих инструментов, наладка станка, автоматическая обработка заготовки по программе с ЧПУ. Также производится удаление стружки	СОЖ, стружка	Утечки СОЖ и масла в гидросферу	Стружка, промасленная ветошь, эмульсия, твердые и жидкие отходы производства

3.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта

Таблица 8. – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Разработка шаблонов управляющих программ для групповой технологии изготовления ультразвуковых волноводов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Разработка мероприятий по исключению попадания паров СОЖ и масел в атмосферу.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	установка емкостей для сбора и отстаивания СОЖ; установка специальных контейнеров для сбора промасленной ветоши; установка контейнера для сбора бытовых отходов; установка емкостей для сбора отработанного масла.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	сбор и хранение стружки в специальных контейнерах; соблюдение регламента утилизации стружки и производственного шлака; соблюдение регламента утилизации бытовых отходов и промасленной ветоши.

3.6 Выводы по разделу

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» описывается безопасное выполнение работы и экологические нормы во время рабочего дня на механосборочном участке по изготовлению ультразвуковых волноводов с применением токарного станка с ЧПУ.

4. Экономическая эффективность работы

4.1 Калькуляция себестоимости технологии ультразвуковой сборки

Расчет себестоимости обработки произведем для двух вариантов: с разработанными шаблонами и базового – классическая обработка.

Калькуляция себестоимости представлена в таблице 9

Таблица 9. – Калькуляция себестоимости токарной обработки по вариантам

№	Расходы и затраты выполняемой работы	Затраты, руб.	
		Базовый	Проект
1	Заработная плата основных производственных рабочих	1000	500
2	Дополнительная заработанная плата	250	125
3	Отчисления на социальные нужды	275	250
4	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: $P_{Э.ОБ}$	100	80
5	Итого технологическая себестоимость: $C_{ТЕХ} = Z_{ПЛ.ОСН} + Z_{ДОП} + O_{С.Н.} + P_{Э.ОБ}$	1625	955
6	Общехозяйственные накладные расходы: $P_{ЦЕХ} = Z_{ПЛ.ОСН} \cdot K_{ЦЕХ}$	1000	795
7	Итого цеховая себестоимость: $C_{ЦЕХ} = C_{ТЕХ} + P_{ЦЕХ}$	2625	1750
8	Заводские накладные расходы: $P_{ЗАВ} = Z_{ПЛ.ОСН} \cdot K_{ЗАВ}$	100	80
	Итого заводская себестоимость $C_{ЗАВ} = C_{ЦЕХ} + P_{ЗАВ}$	2725	1830
7	Внепроизводственные расходы $P_{ВН} = C_{ЗАВ} \cdot K_{ВНП}$	275	270
	Всего полная себестоимость $C_{ПОЛ} = C_{ЗАВ} + P_{ВН}$	3000	2100

Снижение себестоимости обработки детали рассчитываем по формуле:

$$\Delta C_{\text{полн.}} = \frac{C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}} - C_{\text{полн.}}^{\text{пр.}}}{C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{3000 - 2100}{3000} \cdot 100\% = 30\%$$

Снижение трудоемкости рассчитываем по формуле:

$$\Delta t_{\text{шт.}} = \frac{t_{\text{шт.}}^{\text{баз.}} - t_{\text{шт.}}^{\text{пр.}}}{t_{\text{шт.}}^{\text{баз.}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{60 - 36}{60} \cdot 100\% = 40\%$$

4.2. Расчет показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологии

Ожидаемая прибыль (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости обработки детали:

$$P_{\text{ож}} = \Delta_{\text{уг}} = (C_{\text{пол.баз.}} - C_{\text{пол.пр.}}) \cdot P_{\Gamma} = (3000 - 2100) \cdot 250 = 225000 \text{ руб}$$

Налог на прибыль:

$$H_{\text{приб}} = P_{\text{ож}} \cdot K_{\text{нал}} = 225000 \cdot 0,2 = 45000 \text{ руб}$$

Чистая прибыль:

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{ож}} - H_{\text{приб}} = 225000 - 45000 = 180000 \text{ руб}$$

Расчетный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проектируемого варианта:

$$T_{\text{ок.расч}} = \frac{K_{\text{пр.общ}}}{P_{\text{р.чист}}} = \frac{200000}{180000} = 1,11 = 1 \text{ год}$$

Годовой экономический эффект от внедрения в технологический процесс более производительного оборудования рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{\text{год.}} = \left[\left(C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}} + E_n \cdot K_{\text{уд.}}^{\text{баз.}} \right) - \left(C_{\text{полн.}}^{\text{пр.}} + E_n \cdot K_{\text{уд.}}^{\text{пр.}} \right) \right] \cdot N_{\text{г}} =$$

$$= [(3000 + 0,33 \cdot 177,58) - (2100 + 0,33 \cdot 200,47)] \cdot 250 = 75000$$

Технико-экономические показатели эффективности введем в таблицу 4.2

Таблица 10. – Технико-экономические показатели эффективности проекта

№	Наименование показателей	Условное обозначение, единица измерения	Значение показателей	
			Базовый	Проект
Технические параметры проекта				
1	Количество оборудования	$C_{ПР.ОБЦ}, шт$	1	1
3	Длительность производственного цикла	$T_{Ц}, мин$	60	36
Экономические показатели проекта				
1	Годовая программа выпуска	$П_{Г}, шт$	250	
2	Себестоимость единицы изделия	$C_{ПОЛ}, руб$	3000	2100
5	Чистая прибыль	$П_{Р.ЧИСТ}, руб$	180000	
6	Налог на прибыль	$Н_{ПРИБ}, руб$	45000	
7	Срок окупаемости капитальных вложений	$T_{ОК.РАСЧ}, лет$	1	

4.3 Выводы по разделу

В результате усовершенствования технологии снизилась себестоимость обработки на 30 % и трудоемкость обработки на 40 %. Ожидаемая чистая прибыль от снижения себестоимости составила 180000 руб. Годовой экономический эффект от усовершенствования технологии составил 75000 руб. Срок окупаемости 1 года.

Заключение

Технологии с применением дополнительной энергии ультразвуковых колебаний являются перспективными методами интенсификации технологических процессов, позволяющие вести обработку труднообрабатываемых материалов. При проектировании и разработке таких технологий особое значение придается расчету, изготовлению и сборки ультразвуковых колебательных систем. Для различных технологических применений ультразвука существует огромное количество колебательных систем, поэтому их технологическая унификация, позволяющая разработать типовые технологии их изготовления является актуальной технологической задачей. В ходе выполнения выпускной квалификационной работе поставленная цель достигнута – разработаны шаблоны управляющих программ для групповой технологии изготовления ультразвуковых волноводов. В рамках работы выполнена оптимизация циклов управления приводами станка с ЧПУ с целью обеспечения заданной точности воспроизводства контура волновода. Разработаны управляющие программы для обработки волноводов на токарных станках с ЧПУ.

Разработанные шаблоны управляющих программ для токарного станка с ЧПУ использовались для изготовления реальных ультразвуковых волноводов и других комплектующих ультразвуковых колебательных систем для технологии ультразвуковой сварки, выполняемых в рамках хоздоговорной тематики в Тольяттинском государственном университете. Практическая реализация отработанных в рамках выполнения ВКР инженерных решений позволила сократить время технологической подготовки производства и разработки управляющих программ для станка с ЧПУ и повысить производительность изготовления ультразвуковых систем различного типа.

Список используемых источников

1. Основы физики и техники ультразвука: Учебн. пособие для вузов /Б.А. Агранат, М.Н. Дубровин, Н.Н. Хавский и др. – М.:Высш. шк., 1987. – 352 с.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Главн. ред. И.П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия». – 1979. – 400 с.
3. Физика и техника мощного ультразвука // Физические основы ультразвуковой технологии: в 3 т. / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – 658 с.
4. Киселев, Е.С. Интенсификация процессов механической обработки рациональным использованием энергии ультразвукового поля. / Е.С. Киселев – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 186 с.
5. Марков, А.И. Ультразвуковая обработка материалов// А.И. Марков – М.: Машиностроение, 1980 – 237с.
6. Кумабэ, Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ. Перевод с яп. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т1./ Под ред. А.Г. Касиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и дор. – М.: Машиностроение, 1986 г. – 656 с., ил.
8. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т2./ Под ред. А.Г. Касиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и дор. – М.: Машиностроение, 1986 г. – 496 с., ил.
9. Гузеев В.И., Батуев В.А.,Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / Под ред. В.И. Гузеева – М.: Машиностроение, 2005 – 368 с.
10. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий, Изд.-во: Машиностроение, 1990. – 58 с.

11. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.: ил.
12. Руководство Turbo PMAC/ Delta TAU Data System. – 2008. – 440 с
13. Сосонкин В.Л. Некоторые принципы разработки систем ЧПУ нового поколения // СТИН. 2000. №9. С. 24-29.
14. Основы программирования и наладки станков с ЧПУ: учебное пособие / В.П. Должиков; Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011 – 143 с.
15. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ на платформе Heidenhain: учеб. пособие / М. Р. Гимадеев, В. М. Давыдов, А. В. Никитенко, В. А. Стельмаков. - Хабаровск: Изд-во Тихо океан, гос. ун-та, 2015 - 139 с.
16. Кузнецов Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
17. Каштальян И. А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением : учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений / И. А. Каштальян. – Минск: БНТУ, 2015 – 135 с.
18. Чуваков А.Б. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ. Производственное оборудование и основы программирования операций (электронная версия): учеб. пособие / А.Б. Чуваков; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011 – 279 с.
19. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / Под ред. В.И. Гузеева, М.: Машиностроение, 2005. – 368 с.
20. Кормилицин С. И., Технология и программирование обработки на станках с ЧПУ: учеб. пособие / С. И. Кормилицин, В. А. Солодков, Ю. Н. Полянчиков, А. Г. Схиртладзе, ВолгГТУ - Волгоград, 2007 - 112 с.