

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Таровик Артем Борисович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2019

Работа выполнена в ГОСУДАРСТВЕННОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк

Научный

руководитель:

доктор технических наук, профессор
Михайлов Александр Николаевич

Официальные

оппоненты:

Бутенко Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донской государственной технической университет»

Хаустова Анжела Викторовна

кандидат технических наук, доцент,
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Луганский национальный университет им. В. Даля»

Ведущая

организация:

**Государственная образовательная организация
высшего профессионального образования
«Донецкий институт железнодорожного транспорта»**

Защита состоится «26» декабря 2019 года в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.014.02 при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» по адресу: ауд. 6.202,а, пр. Дзержинского, 1, г. Донецк, 283001.

Тел./факс: +380623010805,

E-mail: tm@fimm.donntu.org

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке организации ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» по адресу: корпус 2, ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.014.02



Грубка Р.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в связи с непрерывным прогрессом науки и техники постоянно повышаются требования к производительности технологических процессов изготовления различных изделий машиностроения. Эта проблема особенно остро стоит для тонкостенных цилиндрических изделий, широко используемых в самых различных отраслях промышленности: нефтедобывающей, самолето- и ракетостроении, в космических и военно-промышленных разработках. Поэтому решение вопроса повышения производительности обработки тонкостенных цилиндрических изделий является актуальной задачей для отечественного машиностроения.

В данный момент применение традиционных методов обработки тонкостенных цилиндрических изделий уже исчерпали свои возможности в направлении дальнейшего повышения производительности. Поэтому сейчас все шире применяются комбинированные методы обработки изделий, обеспечивающие использование различных методов реализации технологических воздействий – например, механической обработки, акустических и физико-химических методов. Комплексное использование комбинированных методов позволяет вести дальнейшее повышение эффективности обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

В частности, одним из перспективных методов повышения производительности при обработке тонкостенных цилиндрических изделий является ультразвуковое резание. Применение этого метода обработки способствует повышению производительности. При ультразвуковом резании создаются предпосылки для уменьшения влияния составляющих силы резания на формообразование деталей, особенно нежестких; для улучшения обрабатываемости материалов, прежде всего коррозионностойких и жаропрочных.

Выполненные предварительные исследования процессов комбинированной обработки показали, что для выполнения дальнейшего повышения параметров производительности изготовления тонкостенных цилиндрических изделий следует определить необходимые закономерности формирования структуры и параметров технологических процессов комбинированной обработки. Для реализации технологических процессов комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий необходима разработка технологического обеспечения для выполнения заданных операций процесса.

Степень разработанности темы. Вопросам комбинированной обработки цилиндрических изделий посвящено большое количество научных трудов отечественных и зарубежных ученых (среди которых стоит отметить работы А.И. Маркова, М.С. Нерубая, А.И. Исаева, В.С. Анохина, А.П. Бабичева, А.Н. Михайлова, В.Н. Подураева, М.Л. Хейфец, Е.В. Пашкова, Д. Кумабэ, В.К. Асташева, А.А. Вожжова, В.П. Смоленцева и др.).

Пока что вопрос комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий остается недостаточно изученным, требующим детальных исследований.

Вместе с тем, можно отметить, что выполненные ранее исследования и полученные результаты являются хорошей базой для создания технологического обеспечения комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий машиностроения.

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является повышение производительности изготовления тонкостенных цилиндрических изделий на базе комбинированной технологии обработки путем синтеза рациональной структуры технологического процесса и разработки технологического обеспечения.

На основе поставленной цели в данной работе определены следующие основные задачи:

1. Выполнить анализ существующих методов обработки тонкостенных цилиндрических изделий. Обосновать целесообразность применения комбинированной обработки.

2. Разработать структуру технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий, обеспечивающую повышение производительности обработки. Предложить классификацию тонкостенных цилиндрических изделий.

3. Разработать на базе токарного станка ультразвуковую установку для комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

4. Выполнить экспериментальные исследования по определению влияния режимов резания на силовые параметры при обработке тонкостенных цилиндрических изделий.

5. Получить зависимости изменения среднего значения силы резания для обычного и ультразвукового точения тонкостенных цилиндрических изделий.

6. Установить область допустимых решений, с помощью которой определить оптимальные режимы резания и коэффициент производительности.

7. Внедрить результаты работы в производство.

Объект исследования. Процесс комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий на основе лезвийного точения с наложением ультразвуковых колебаний на режущий инструмент.

Предмет исследования. Технологические показатели комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

Научная новизна полученных результатов:

1. Предложена и обоснована на основе функционально-ориентированного подхода структура технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

2. Экспериментально получены зависимости, которые подтверждают снижение сил резания при ультразвуковом воздействии режущего инструмента на тонкостенные цилиндрические изделия.

3. Получила дальнейшее развитие методика выбора оптимальных режимов резания и оценки производительности комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий на базе оптимизации в условиях технических ограничений.

Теоретическая значимость работы.

1. Разработана методика оптимизации режимов резания в условиях технических ограничений при комбинированной обработке тонкостенных цилиндрических изделий.

2. Получены математические зависимости, позволяющие определять технические ограничения по мощности привода и шероховатости поверхности в зависимости от режимов для заданных условий комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

3. Разработана укрупненная универсальная структура технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий на базе технологических модулей.

Практическая значимость работы.

1. Разработанный рациональный технологический процесс комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий обеспечивает снижение радиальной составляющей силы резания на 22%, тангенциальной – на 51%.

2. Обоснованные рекомендации по выбору оптимальных режимов резания в условиях комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий позволяют повысить производительность обработки в 2 раза.

3. Результаты работы внедрены в производство на ООО «Завод Прогресс 2000» и в Донбасском государственном техническом университете (г. Алчевск). Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы составит 121500 рублей РФ (сто двадцать одну тысячу пятьсот рублей РФ).

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач исследования и получения результатов, обладающих новизной, использован следующий комплекс методов и научных положений: положения теории резания; основные положения и методы технологии машиностроения и теории оптимизации; методы и принципы функционально-ориентированных технологий машиностроения; методы математического моделирования и статистики. Экспериментальные исследования базировались на методах планирования эксперимента; обработку результатов экспериментов проводили с помощью статистических методов.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные научные разработки и положения:

- научное положение о том, что ультразвуковая обработка тонкостенных цилиндрических изделий обеспечивается за счет выбора оптимальных режимов, что дает возможность получить более полную оценку повышения производительности обработки;

- результаты экспериментальных исследований по оценке снижения среднего значения силы резания при ультразвуковом воздействии режущего инструмента на тонкостенные цилиндрические изделия;

- методика оптимизации, позволяющая давать обоснованные рекомендации по выбору оптимальных режимов резания в условиях ультразвуковой обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

Степень достоверности результатов. Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается корректностью применения современного математического аппарата и научных теорий, адекватностью разработанных мо-

делей, применением современного оборудования; допустимой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, внедрением результатов исследования в производство.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты исследования, которые представлены в диссертации, были обсуждены на международных научно-технических конференциях: XIX Международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века» (г. Севастополь, 2012 г.); XX Международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века» (г. Севастополь, 2013 г.); Юбилейная международная научно-техническая конференция «60 лет ДонГТУ. Наука и практика» (г. Алчевск, 2017 г.); III Международная научно-техническая конференция «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства» (г. Алчевск, 2018 г.).

В полном объеме диссертация докладывалась на семинарах кафедры «Технология машиностроения» Донецкого национального технического университета (г. Донецк) и кафедры «Технология и организация машиностроительного производства» Донбасского государственного технического университета (г. Алчевск).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 10 научно-технических работах, в том числе: 2 статьи в ведущих рецензируемых изданиях ВАК, имеющем РИНЦ; 1 статья в ведущем рецензируемом журнале ВАК России; 2 статьи в сборниках научных трудов; 1 статья в студенческом научно-техническом журнале; 4 публикации в материалах международных конференций.

Структура и объем работы. Работа состоит из титульного листа, оглавления, введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, содержащего 141 наименование и приложения. Диссертация содержит 52 рисунка и 3 таблицы. Общий объем работы – 140 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе работы выполнен анализ современного состояния вопроса исследований, проанализированы существующие методы обработки тонкостенных цилиндрических изделий, исследованы комбинированные методы обработки.

В современной механике деформируемых тел тонкостенными называют стержни, длина которых значительно превышает размеры (ширину, высоту) поперечного сечения, а последние, в свою очередь, во столько же раз превосходят толщину стенок.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время существует множество методов обработки цилиндрических изделий. Эти методы позволяют обеспечить заданные параметры производительности обработки, но не учитывают тонкостенность цилиндрического изделия. Поэтому необходимо исследовать комбинированные методы для дальнейшего повышения производительности обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

На основании выполненного литературного обзора современного состояния вопроса была поставлена цель и сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во втором разделе разработана структура технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

Классификация методов обработки может осуществляться по ряду различных признаков: по виду затрачиваемой энергии, эффективности технологических воздействий, виду применяемых средств технологических воздействий, обеспечения, физической сущности процесса преобразования заготовки в изделие.

В диссертационной работе представлена классификация комбинированных методов обработки (рисунок 1).

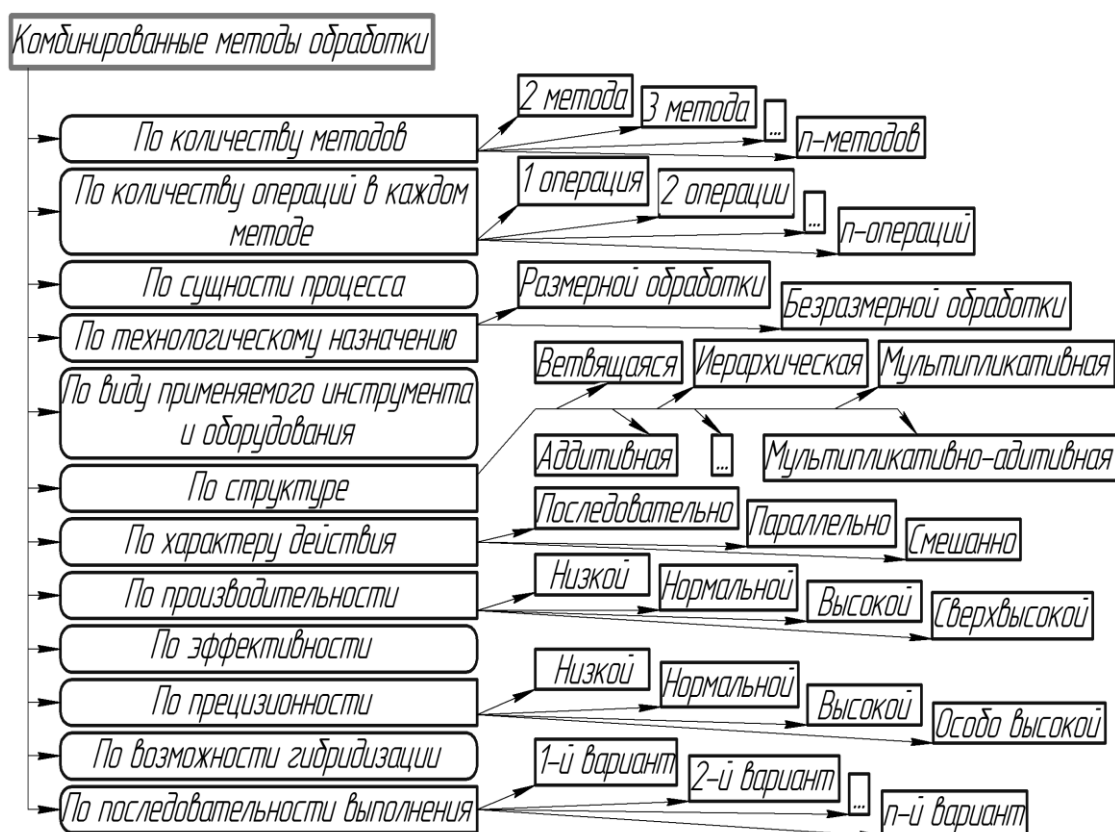


Рисунок 1 – Классификация комбинированных методов обработки

Для выполнения синтеза технологического процесса должна быть определенная база данных, из которой можно было бы производить выбор необходимых вариантов решений или относить получаемые решения к какому-либо классу объектов. При всем этом содержание базы данных должно быть подчинено определенным законам, а расположение технологических объектов должно выполняться по некоторым закономерностям. Эта проблема решена с помощью классификации тонкостенных цилиндрических изделий (рисунок 2).

В целом проектирование технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий базируется на следующих этапах:

- анализ особенностей эксплуатации тонкостенного цилиндрического изделия в машине или технологической системе;
- деление тонкостенного цилиндрического изделия на функциональные элементы по уровням деления (рисунок 3), составление структуры функциональных элементов (рисунок 4);

– составление структуры технологического процесса для разработанной структуры функциональных элементов на базе группы особых принципов ориентации технологических воздействий и свойств функциональных элементов.

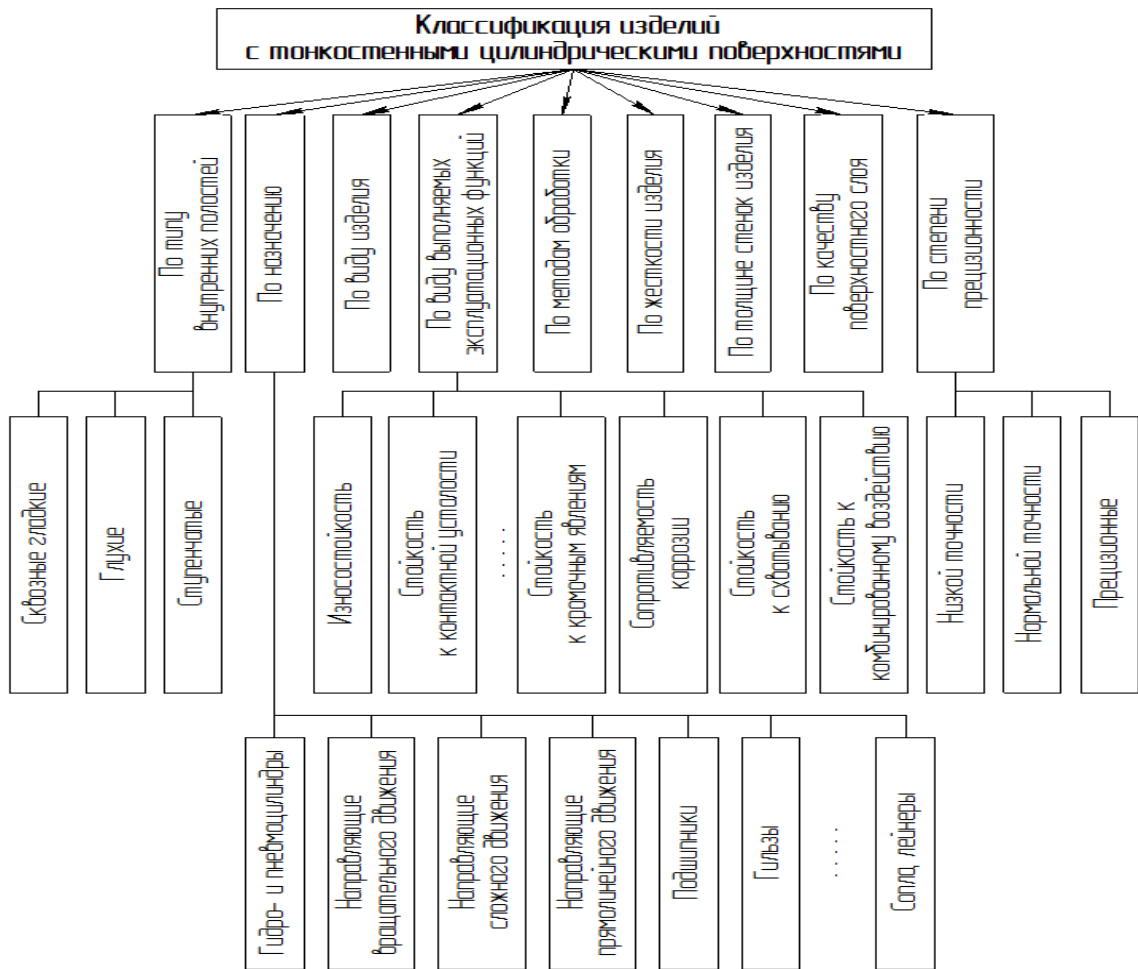


Рисунок 2 – Классификация тонкостенных цилиндрических изделий

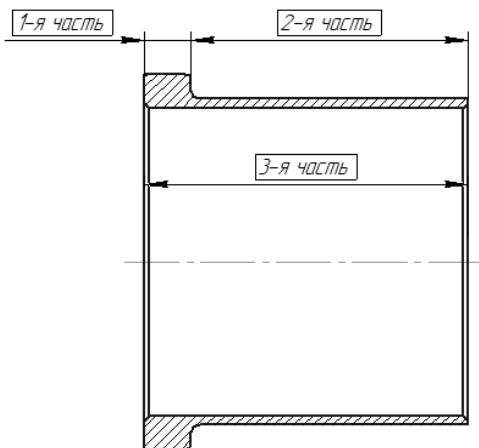


Рисунок 3 – Тонкостенное цилиндрическое изделие

Для синтеза рациональной структуры технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий разработана укрупненная универсальная структура технологического процесса на базе технологических модулей (рисунок 5).

Выполненные исследования позволили установить, что для формирования рациональной структуры необходима база данных технологических операций, которая может формироваться из технологических модулей операций. Используя технологические модули операций и методы морфологического подхода,

можно определять необходимую структуру рационального технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

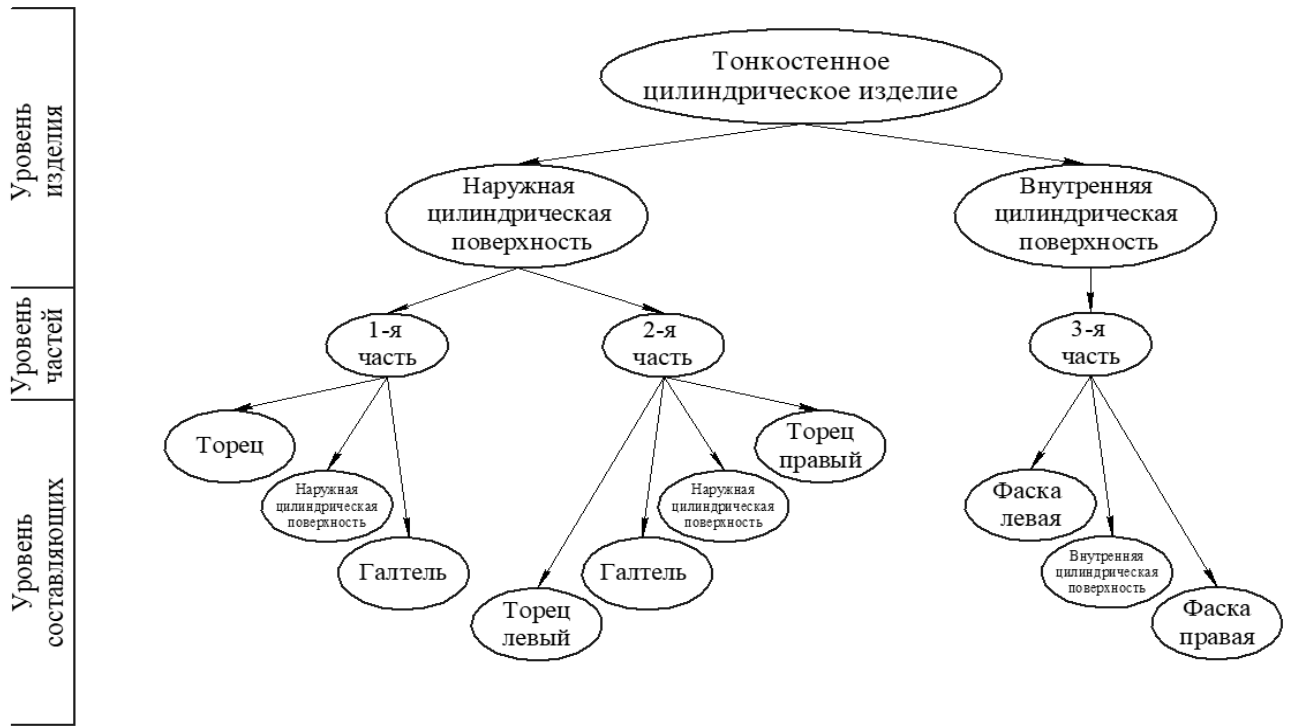


Рисунок 4 – Иерархическая структура функциональных элементов тонкостенного цилиндрического изделия



Рисунок 5 – Общая укрупненная универсальная структура технологического процесса ультразвуковой обработки тонкостенных цилиндрических изделий

Эти этапы являются общими и универсальными для решения вопросов изготовления изделия с помощью ультразвуковой обработки. Здесь для каждого этапа проектирования технологического процесса формируется свой универсальный технологический модуль возможных операций (база данных) и на основе его структурируется необходимый подпроцесс и соответственно технологический процесс для конкретного изделия. На всех этапах технологического процесса необходимо предусматривать необходимые операции для составления технологического процесса на базе функционально-ориентированного подхода. То есть разрабатывать функционально-ориентированный технологический процесс с учетом всех особенностей его проектирования. Однако здесь можно отметить, что в ряде случаев для определенной обработки может быть применен традиционный технологический процесс. Поэтому здесь возможны случаи комбинирования традиционных и функционально-ориентированных технологических процессов.

На 1-м этапе технологического процесса обработки тонкостенных цилиндрических изделий предусмотрена механическая обработка наружной цилиндрической поверхности (НЦП) изделия. На этом этапе технологического процесса необходимо обеспечить заданные свойства НЦП изделия, а именно следующие: заданные параметры точности НЦП изделия, необходимые параметры шероховатости поверхности НЦП изделия, требуемые свойства НЦП изделия. Эти параметры можно обеспечить различными вариантами структуры подпроцесса 1-го этапа технологического процесса. Поэтому на множестве возможных вариантов операций $T_1 = \{t_{11}, t_{12}, t_{13}, \dots, t_{1S_1}\}$ технологического модуля операций 1-го этапа технологического процесса, где S_1 – количество возможных вариантов операций на данном этапе, можно выбрать определенное подмножество подпроцессов (структур) $\{Str_{T_{11}}, Str_{T_{12}}, \dots, Str_{T_{1V_1}}\}$, каждый из которых будет обеспечивать те или другие параметры НЦП изделия. Здесь: V_1 – количество возможных структурных вариантов подпроцессов данного этапа технологического процесса. Далее на этом подмножестве подпроцессов 1-го этапа технологического процесса необходимо выбрать рациональную структуру Str_{T_1} подпроцесса обработки НЦП изделия. Этот вопрос может быть решен только на базе установления связей и отношений между параметрами операций всего технологического процесса в целом. Представленное множество возможных операций 1-го этапа технологического процесса должно формироваться в базе данных – в технологическом модуле операций 1.

На 2-м этапе технологического процесса обработки тонкостенных цилиндрических изделий предусмотрена механическая обработка с ультразвуком НЦП изделия. На этом этапе технологического процесса необходимо обеспечить заданные свойства НЦП изделия, а именно следующие: заданные параметры точности НЦП изделия, необходимые параметры шероховатости поверхности НЦП изделия, требуемые свойства НЦП изделия. Эти параметры можно обеспечить различными вариантами структуры подпроцесса 2-го этапа технологического процесса. Поэтому на множестве возможных вариантов операций $T_2 = \{t_{21}, t_{22}, t_{23}, \dots, t_{2S_2}\}$ технологического модуля операций 2-го этапа технологического процесса, где S_2 – количество возможных вариантов операций на данном этапе, можно выбрать определенное подмножество подпроцессов (структур) $\{Str_{T_{21}}, Str_{T_{22}}, \dots,$

$Str_{T_2V_2}$ }, каждый из которых будет обеспечивать те или другие параметры НЦП изделия. Здесь: V_2 – количество возможных структурных вариантов подпроцессов данного этапа технологического процесса. Далее на этом подмножестве подпроцессов 2-го этапа технологического процесса необходимо выбрать рациональную структуру Str_{T_2} подпроцесса обработки НЦП изделия. Этот вопрос может быть решен только на базе установления связей и отношений между параметрами операций всего технологического процесса в целом. Представленное множество возможных операций 2-го этапа технологического процесса должно формироваться в базе данных – в технологическом модуле операций 2.

3-й этап технологического процесса предназначен для выполнения контрольных операций и определения соответствия свойств тонкостенных цилиндрических изделий заданным параметрам. Здесь также на множестве контрольных операций $T_3 = \{t_{31}, t_{32}, t_{33}, \dots, t_{3S_3}\}$ технологического модуля операций 3-го этапа технологического процесса, где S_3 – количество возможных вариантов операций на данном этапе, можно выбрать определенное подмножество подпроцессов (структур) $\{Str_{T_31}, Str_{T_32}, \dots, Str_{T_3V_3}\}$, каждый из которых будет обеспечивать те или другие параметры тонкостенных цилиндрических изделий. Здесь: V_3 – количество возможных структурных вариантов подпроцессов данного этапа технологического процесса. Далее на этом подмножестве подпроцессов 3-го этапа технологического процесса необходимо выбрать рациональную структуру Str_{T_3} подпроцесса контроля параметров и свойств тонкостенного цилиндрического изделия. Представленное множество возможных операций 3-го этапа технологического процесса должно формироваться в базе данных – в технологическом модуле операций 3.

Выполненные исследования позволили установить, что для формирования рациональной структуры необходима база данных технологических операций, которая может формироваться из технологических модулей операций. Используя технологические модули операций и методы морфологического подхода можно определять необходимую структуру рационального технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий.

В третьем разделе представлено оборудование для реализации комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий, проанализированы особенности измерения частоты и амплитуды колебаний инструмента, рассмотрено влияние ультразвуковых колебаний при резании на качество получаемой поверхности.

Для проведения исследований по ультразвуковому резанию тонкостенных цилиндрических изделий было разработано специальное приспособление на базе токарно-винторезного станка модели 1М61 для тангенциального (рисунок 6) и радиального (рисунок 7) направлений колебаний вершины режущего инструмента.

Для наибольшего коэффициента усиления был выбран концентратор ступенчатой формы (рисунок 8). Колебания вершины резца с ультразвуковой частотой обеспечивались при помощи магнестрикционного преобразователя модели ПМС-1-1 (рисунок 9). Источником питания преобразователя служил ультразвуковой генератор модели УСО 1-1М (рисунок 10).

В качестве выходного параметра выступала радиальная и тангенциальная составляющие силы резания. Измерение сил резания осуществлялось с помощью датчиков на основе тензорезисторов с сопротивлением в $95,9 \text{ Ом}$. Тензорезисторы подключались через трехканальный разъем к усилителю. С усилителя подключалась к плате ADC-16 (рисунок 11).

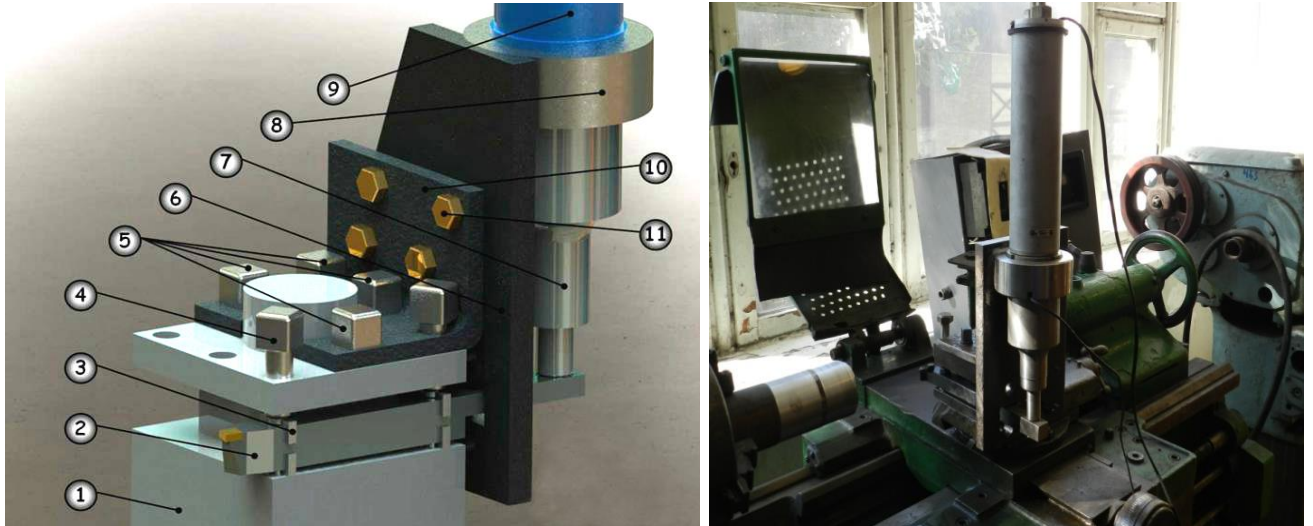


Рисунок 6 – Ультразвуковая установка для тангенциального направления колебаний:

- 1 – резцедержатель; 2 – резец; 3 – направляющие опоры; 4,5 – винты M14;
 6 – стальной лист; 7 – концентратор ступенчатый; 8 – кольцо;
 9 – преобразователь магнитострикционный; 10 – стальной уголок;
 11 – винт M12

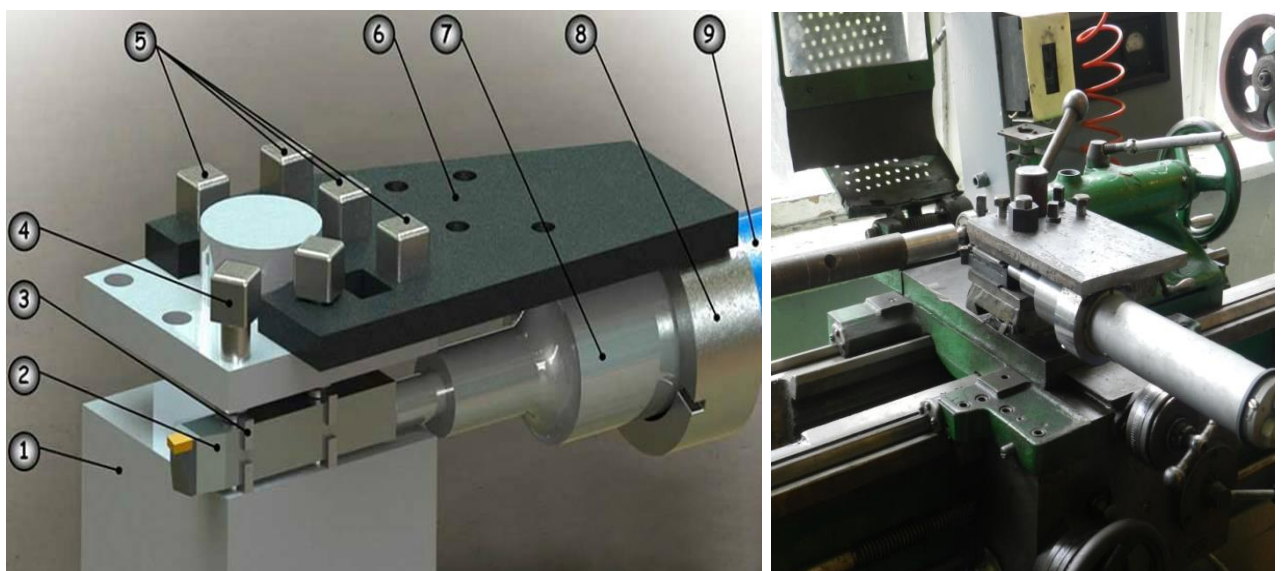


Рисунок 7 – Ультразвуковая установка для радиального направления колебаний:

- 1 – резцедержатель; 2 – резец; 3 – направляющие опоры; 4,5 – винты M14;
 6 – стальной лист; 7 – концентратор ступенчатый; 8 – кольцо;
 9 – преобразователь магнитострикционный



Рисунок 8 – Концентратор ступенчатой формы

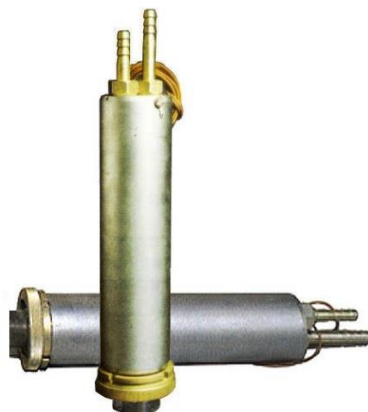


Рисунок 9 – Магнито-стрикционный преобразователь



Рисунок 10 – Ультразвуковой генератор



Рисунок 11 – Персональный компьютер с подключенной высокочастотной платой ADC-16

Ниже приведены увеличенные фотографии поверхностей, обработанных с ультразвуком и без него (рисунок 12). Увеличенные изображения обработанных поверхностей были сделаны с помощью микроскопов ММУ-3, ПМТ-3 и цифровой камеры «Webbers» DCM-130M.

Применение ультразвукового метода обработки положительно сказывается на шероховатости получаемой поверхности, если сравнивать с точением в тех же условиях (без ультразвука $Rz = 22,7$ мкм, с ультразвуком $Rz = 4,21$ мкм).

Нижеуказанные фотографии отображают поверхности, обработанные без применения СОТС, т.е. сухое ультразвуковое резание.

В четвертом разделе изложены результаты экспериментальных исследований, связанные с особенностями технологии обработки тонкостенных цилиндрических изделий при наложении ультразвуковых колебаний, обработка и основные результаты.

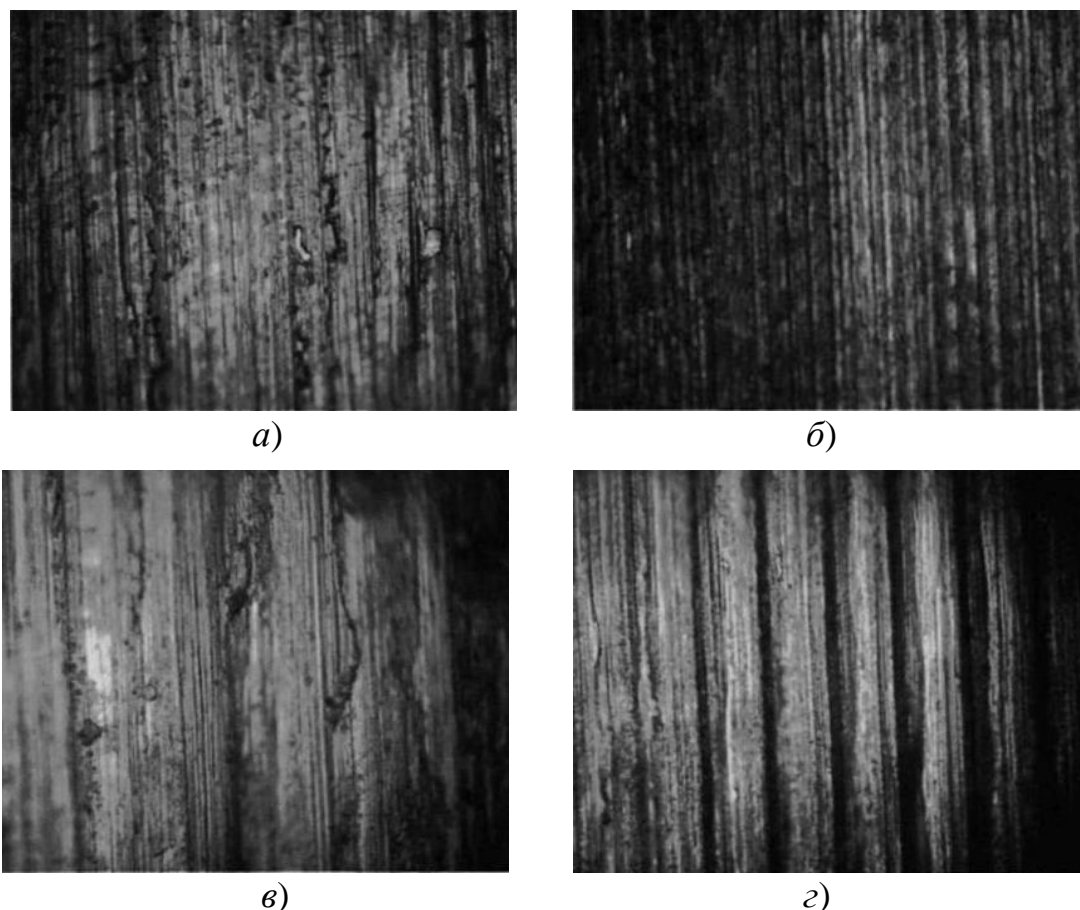


Рисунок 12 – Поверхности после обработки:
 без ультразвука $R_z = 22,7$ мкм, а) 100х, в) 200х;
 с ультразвуком $R_z = 4,21$ мкм, б) 100х, г) 200х

В качестве режущего инструмента был взят резец проходной MSSNR 2020 K12 с механическим креплением квадратной твердосплавной пластины T5K10.

Для эксперимента в качестве заготовки была взята стальная тонкостенная цилиндрическая гильза (сталь X18H12T) с габаритными размерами $\varnothing 100 \times 356$, толщина стенки 6 мм.

Для исследования были выделены следующие факторы: глубина и скорость резания. Остальные факторы имеют следующие значения: частота колебаний $f = 22 \pm 7,5\%$ кГц; амплитуда колебаний $a = 15$ мкм; подача $S = 0,5$ мм/об. Скорость резания варьировалась от 60 до 100 м/мин с интервалом 20 м/мин, глубина резания варьировалась от 0,5 до 1,5 мм с интервалом 0,5 мм.

Измеряемым параметром являлись радиальная и тангенциальная составляющие силы резания. Измерения проводились с помощью датчиков и выдавались на экран компьютера. Данные были получены в милливольтгах mV с интервалом в 1 миллисекунду ms.

По полученным данным экспериментальных исследований были построены графики зависимостей радиальной (рисунок 13) и тангенциальной (рисунок 14) составляющей силы резания от изменения глубины резания для обычного и ультразвукового точения при скорости резания 60, 80 и 100 м/мин соответственно.

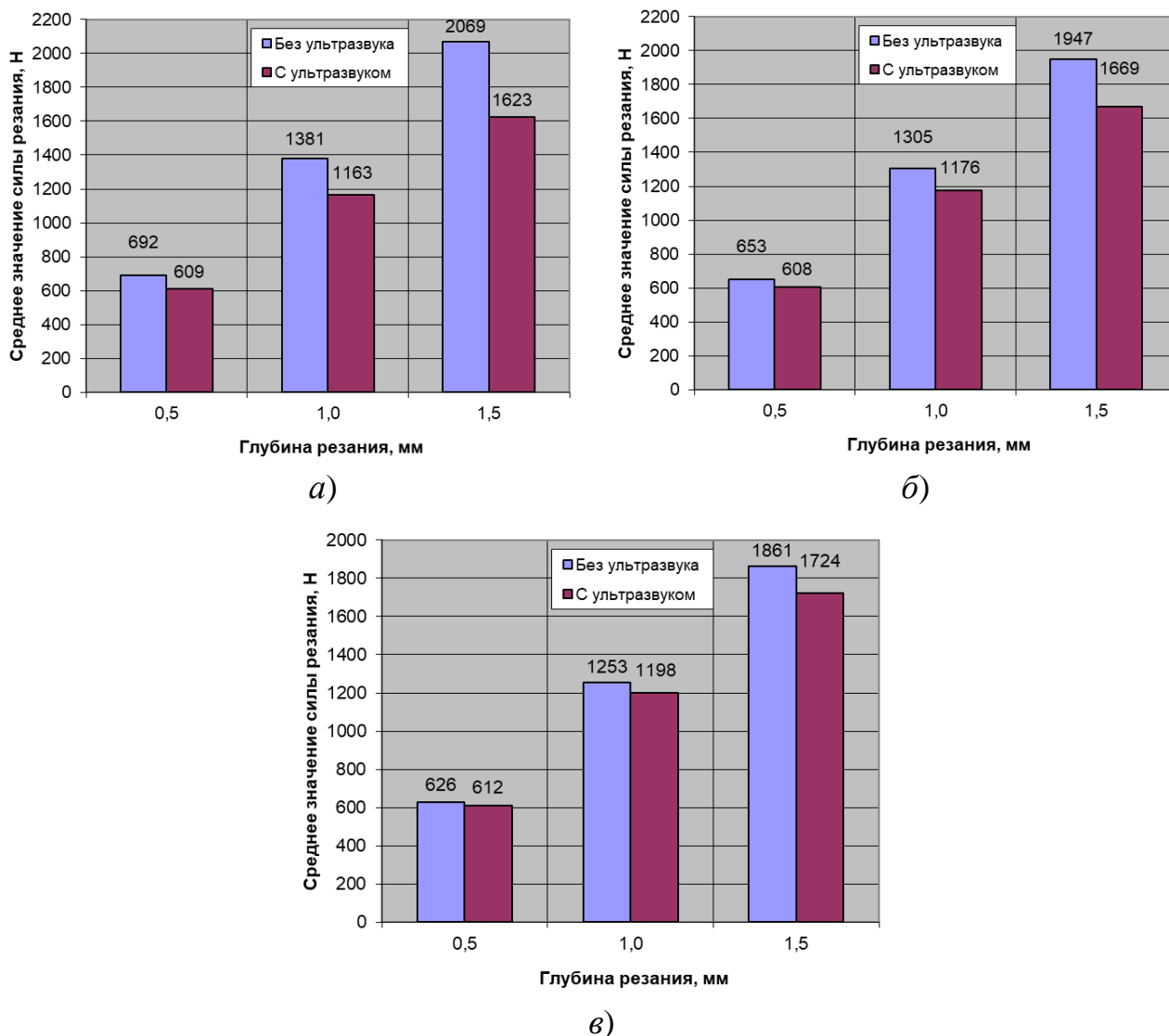


Рисунок 13 – Графики изменения среднего значения радиальной составляющей силы резания от глубины резания для обычного и ультразвукового точения при скорости: а) 60 м/мин; б) 80 м/мин; в) 100 м/мин

При скорости 100 м/мин снижение среднего значения силы резания составило от 2,24 до 7,36% при радиальном направлении колебаний и от 23,20 до 32,76% при тангенциальном направлении колебаний. При скорости 80 м/мин снижение среднего значения силы резания составило от 6,89 до 14,28% при радиальном направлении колебаний и от 33,87 до 43,15% при тангенциальном направлении колебаний. При скорости 60 м/мин снижение среднего значения силы резания составило от 12,00 до 21,56% при радиальном направлении колебаний и от 41,32 до 50,78% при тангенциальном направлении колебаний.

В пятом разделе проанализированы и определены оптимальные режимы резания при ультразвуковой обработке тонкостенных цилиндрических изделий. Критерием оптимизации режимов резания выступает производительность обработки. Одним из наиболее распространенных методов оптимизации в настоящее время является метод линейного программирования, позволяющий осуществлять одновременную оптимизацию скорости резания (или связанную с ней частоту

вращения шпинделя) и подачи с учетом действующих при резании ограничений по критерию максимальной производительности.

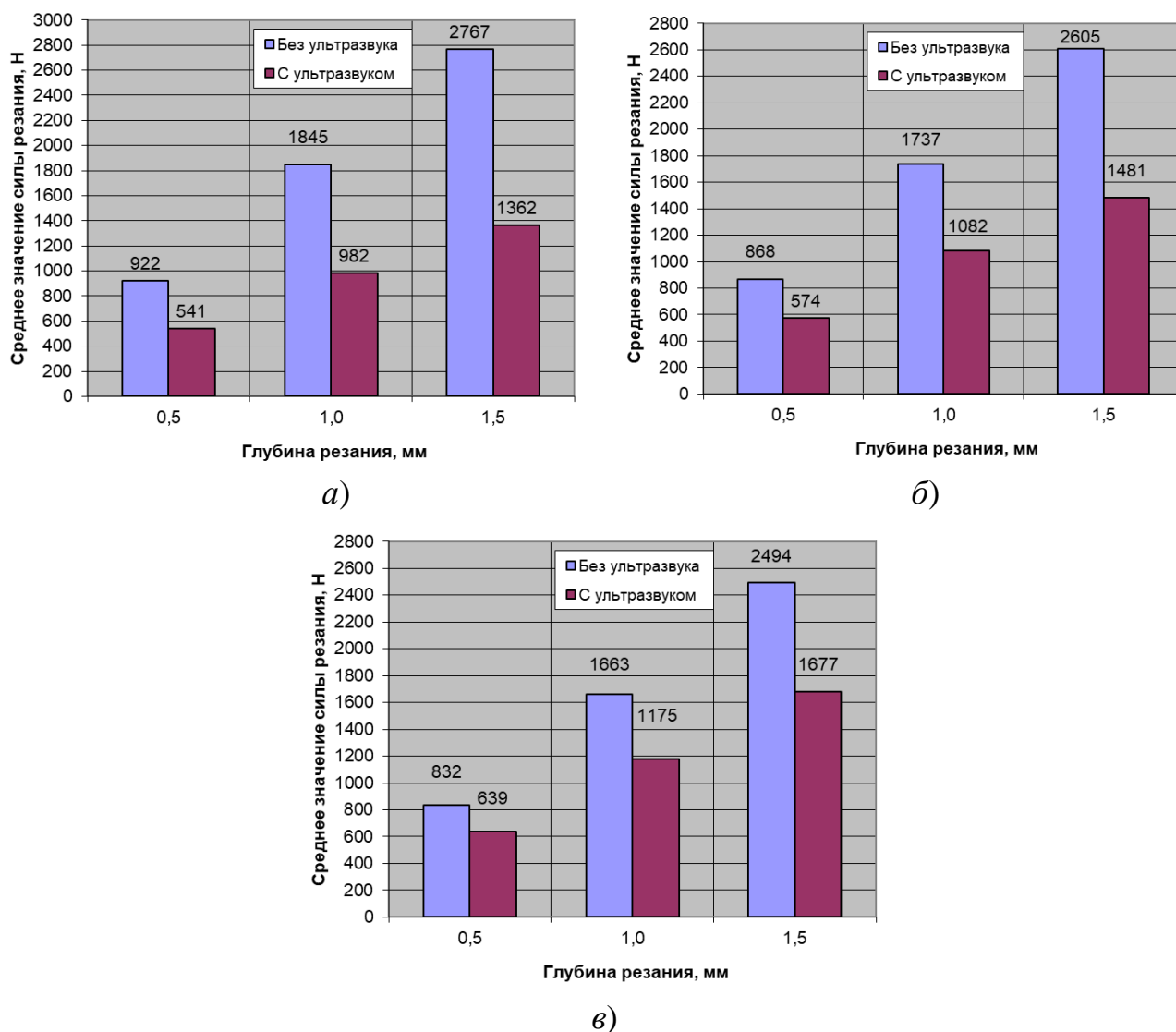


Рисунок 14 – Графики изменения среднего значения тангенциальной составляющей силы резания от глубины резания для обычного и ультразвукового течения при скорости: а) 60 м/мин; б) 80 м/мин; в) 100 м/мин

В основу метода положена математическая модель процесса обработки, состоящая из целевой функции и ограничений, отражающих цели оптимизации и закономерности резания металлов. Модель имеет следующие ограничения: кинематические ограничения (исходя из возможностей станка); ограничение по жесткости заготовки; ограничение по стойкости инструмента; ограничение по мощности привода главного движения станка; ограничение по точности обработки; ограничение по температуре резания; ограничение по шероховатости обработанной поверхности.

В результате линеаризации целевой функции и ограничений путем логарифмирования определена математическая модель процесса резания, выраженная системой линейных неравенств, графически представленных на рисунке 15.

Коэффициент производительности ультразвукового точения по сравнению с обычным точением составил 2,02.

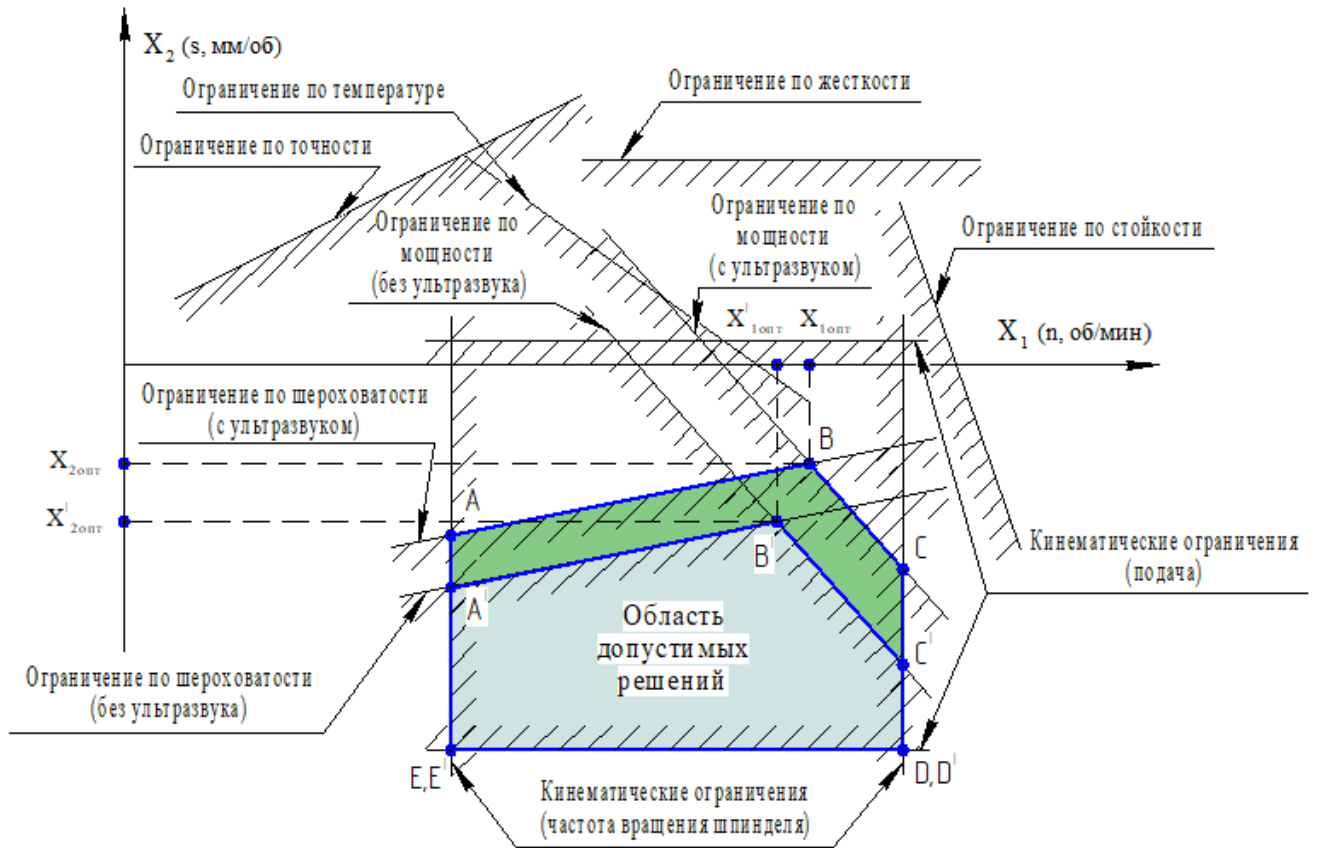


Рисунок 15 – Нахождение области допустимых решений графическим способом

$$\left\{ \begin{array}{l} b_1 \leq x_1 \leq b_2; \\ b_3 \leq x_2 \leq b_4; \\ x_2 \leq b_5; \\ x_1 + 0.35 \cdot x_2 \leq b_6; \\ 0.85 \cdot x_1 + 0.75 \cdot x_2 \leq b_7; \\ -0.3 \cdot x_1 + 0.6 \cdot x_2 \leq b_8; \\ 0.22 \cdot x_1 + 0.3 \cdot x_2 \leq b_9; \\ -0.06 \cdot x_1 + 0.58 \cdot x_2 \leq b_{10}; \\ (x_1 + x_2) \rightarrow \max. \end{array} \right.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, посвященной решению вопросов повышения производительности изготовления тонкостенных цилиндрических изделий на базе комбинированной технологии путем синтеза рациональной структуры технологического процесса и разработки технологического обеспечения. Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1. В данной работе выполнен анализ существующих методов обработки тонкостенных цилиндрических изделий. В результате анализа рассмотрена область целесообразного применения комбинированной обработки.

2. В работе разработана структура технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий, базирующаяся на системном, морфологическом и функционально-ориентированном подходе, обеспечивающая возможность выполнять синтез рациональной структуры на основе универсальной структуры технологического процесса, включающего ультразвуковое резание. Предложена классификация тонкостенных цилиндрических изделий.

3. Для синтеза рациональной структуры технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий разработана укрупненная универсальная структура технологического процесса на базе модулей операций. Выполненные исследования позволили установить, что для формирования рациональной структуры необходима база данных технологических операций, которая может формироваться из модулей операций. Используя технологические модули операций и методы морфологического подхода, можно определять необходимую структуру рационального технологического процесса.

4. На базе токарного станка в работе разработана ультразвуковая установка для тангенциального и радиального направления колебаний резца.

5. Экспериментальными исследованиями установлено влияния режимов резания на силовые параметры при обработке ТЦИ.

6. Получены экспериментально зависимости изменения среднего значения силы резания для обычного и ультразвукового точения ТЦИ, в результате которых снижение тангенциальной составляющей силы резания составило более 50%, а радиальной – 22%.

7. Для определения оптимальных параметров режимов резания ($n = 200$ об/мин, $s = 0,46$ мм/об, скорость резания $V = 59,03$ м/мин) путем линейного математического программирования установлена область допустимых решений. Коэффициент производительности ультразвукового точения по сравнению с обычным точением равен 2,02.

8. Результаты работы внедрены в производство на ООО «Завод Прогресс 2000» (г. Алчевск, ЛНР) и в учебном процессе на кафедре технологии и организации машиностроительного производства ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ» (дисциплина «Технология электрофизических и электрохимических методов обработки»).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные работы в ведущих рецензируемых журналах и изданиях

1. **Таровик, А.Б.** Оптимизация режимов резания при обработке тонкостенных цилиндрических изделий / **А.Б. Таровик, А. Н. Михайлов** // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ. – 2014. – Вип. 3 (49). – С.183-187.

2. Михайлов, А.Н. Снижение силы резания при обработке тонкостенных цилиндрических изделий с применением ультразвуковых колебаний инструмента / А.Н. Михайлов, **А.Б. Таровик** // Научно-технический и производственный журнал. – М.: Машиностроение, 2014. – Вып. 8 (38). – С. 14-17.

3. **Таровик, А.Б.** Снижение тангенциальной силы резания при обработке тонкостенных цилиндрических изделий с применением ультразвуковых колебаний инструмента / **А.Б. Таровик** // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ. – 2014. – Вип. 2 (48). – С. 131-136.

Научные работы в материалах конференций

4. **Таровик, А.Б.** Классификация и особенности эксплуатации изделий с тонкостенными цилиндрическими поверхностями / **А.Б. Таровик, А.Н. Михайлов** // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2012 г. В 3-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – Т.3. – С. 3-6.

5. **Таровик, А.Б.** Особенности токарной обработки с применением ультразвуковых колебаний инструмента / **А.Б. Таровик, А.Н. Михайлов, А. Гитуни, Д. Исаев** // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 16-21 сентября 2013 г. В 3-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – Т.3. – С. 71-75.

6. **Таровик, А.Б.** Синтез структуры технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий / **А.Б. Таровик, А.Ю. Сытник, С.С. Остапенко** // Сборник тезисов докладов Юбилейной международной научно-технической конференции «60 лет ДонГТУ. Наука и практика» 11 октября 2017 г. – Алчевск: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – С. 211-212.

7. **Таровик, А.Б.** Классификация тонкостенных цилиндрических изделий / **А.Б. Таровик** // Сборник тезисов докладов III Международной научно-технической конференции «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства». – Алчевск: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. – С. 52-54.

Другие научные работы

8. **Таровик, А.Б.** Классификация комбинированных методов обработки тонкостенных цилиндрических изделий / **А.Б. Таровик, А.Н. Михайлов** // Инженер. Студентський науково-технічний журнал. – Донецьк: ДонНТУ. – 2012. – №13. – С. 62-66.

9. **Таровик, А.Б.** Зниження радіальної і тангенціальної сили різання при комбінованій обробці тонкостінних циліндричних виробів / **А.Б. Таровик, О.М. Михайлов** // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: зб. наук. праць. – Одеса: Наука і техніка, 2014. – Вип. 2 (7). – С. 137-142.

10 Михайлов, А.Н Снижение силы резания при точении тонкостенных цилиндрических изделий с применением ультразвуковых колебаний инструмента / А.Н. Михайлов, **А.Б. Таровик** // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – 2016. – Вып. 4 (47). – С. 143-148.

Личный вклад соискателя в публикациях: [1] – представлена математическая модель процесса резания, выраженная системой линейных неравенств, определены оптимальные режимы резания; [2,9,10] – приведена разработанная ультразвуковая установка для комбинированной обработки и результаты экспериментальных исследований, проанализированы изменения радиальной и тангенциальной составляющих сил резания при обычном точении и при точении с ультразвуком; [4,7] – разработана классификация изделий с тонкостенными цилиндрическими поверхностями; [5] – рассмотрены особенности применения ультразвуковых вибраций при токарной обработке; [6] – разработана укрупненная универсальная структура технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий; [8] – представлена классификация комбинированных методов обработки.

АННОТАЦИЯ

Таровик А.Б. Совершенствование технологического обеспечения комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий машиностроения – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения – ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк, 2019 г.

Диссертация посвящена повышению производительности изготовления тонкостенных цилиндрических изделий на базе комбинированной технологии обработки путем синтеза рациональной структуры технологического процесса и разработки технологического обеспечения.

В работе разработана структура технологического процесса комбинированной обработки тонкостенных цилиндрических изделий. Предложена классификация тонкостенных цилиндрических изделий. Разработана на базе токарного станка ультразвуковая установка для комбинированной обработки. Выполнены экспериментальные исследования по определению влияния режимов резания на силовые параметры при обработке тонкостенных цилиндрических изделий. Получены зависимости изменения среднего значения силы резания для обычного и ультразвукового точения. Установлена область допустимых решений, с помощью которой определены оптимальные режимы резания и коэффициент производительности.

Ключевые слова: производительность, комбинированная обработка, тонкостенные цилиндрические изделия, ультразвуковое оборудование, радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, оптимальные режимы резания.

ABSTRACT

Tarovik Artyom Borisovich. **Improvement of technological support of combined processing of thin-walled cylindrical engineering products** – As manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.02.08 – Technology of Mechanical Engineering – DONNTU, Donetsk, 2019.

The dissertation is devoted to increasing the productivity of manufacturing thin-walled cylindrical products on the basis of combined processing technology by synthesizing the rational structure of the technological process and developing technological support.

The structure of the technological process of the combined processing of thin-walled cylindrical products is developed. A classification of thin-walled cylindrical products is proposed. An ultrasonic unit for combined processing has been developed on the basis of a lathe. Experimental studies were carried out to determine the influence of cutting conditions on power parameters during the processing of thin-walled cylindrical products. The dependences of the change in the average value of the cutting force for conventional and ultrasonic turning are obtained. The area of feasible solutions has been established, with the help of which the optimal cutting conditions and productivity coefficient are determined.

Keywords: productivity, combined processing, thin-walled cylindrical products, ultrasonic equipment, radial and tangential components of the cutting force, optimal cutting conditions.