

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки: 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», образовательной программе: 8D07101– «Машиностроение»

**Карсаковой Нургуль Жолаевны**

### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

**Постановка вопроса и актуальность исследования.** Основные направления развитие машиностроения, в частности тяжелого машиностроения, рассмотрено в государственной программе по развитию машиностроения в Республике Казахстан (2010-2014гг.) и в рамках инвестиционных проектов, вошедших в «Карту индустриализации» Казахстана на 2010-2014 годы, а также Государственной программе индустриально-инновационного развития Республики Казахстан (РК) на 2015-2019 и 2020-2025 годы. А также в Комплексном плане по развитию машиностроительной отрасли РК на 2024 – 2028 годы особое внимание уделяется и оказывается поддержка со стороны государства для дальнейшего повышения конкурентоспособности отечественного машиностроения.

Развитие передовых отраслей промышленности РК, такие как химическая, нефтяная, геологоразведочная, металлургическая и др. напрямую зависит от качества изготовления деталей машин и технологического оборудования.

В настоящее время изготовлением и ремонтом крупногабаритных деталей технологического оборудования, в основном занимаются заводы тяжелого машиностроения, в частности АО «Петропавловский завод тяжелого машиностроения» (г. Петропавловск), АО «Алматинский завод тяжелого машиностроения» (г. Алматы) и ТОО "Maker" (Мэйкер) – КЛМЗ (г. Караганда).

Анализ состояния отечественных машиностроительных заводов показали, что существуют проблема при изготовлении крупногабаритных деталей технологического оборудования связанные с обеспечением требуемой точности и качества механической обработки и контроля ответственных поверхностей.

К таким деталям можно отнести станину погружных насосов. Станина НП8 насоса погружного является его опорной частью, на которой монтируются узлы и детали насоса и к которой предъявляются особенно высокие требования с точки зрения ее прочности, жесткости и технологичности.

Основным производителем станины насосов погружных в Карагандинском регионе являются заводы ТОО "Maker" (Мэйкер) – КЛМЗ и ТОО «QazKarbon». Технологический процесс механической обработки станины погружного насоса разрабатывается по разному, в зависимости от

уровня технологической обеспеченности того или иного машиностроительного предприятия. Высокие требования по обеспечению качества механической обработки и точности расположения поверхностей предъявляются к ступенчатым поверхностям отверстия. Обеспечение требуемого качества обработки и точности расположения этих поверхностей затруднительно, а иногда вообще сложно обеспечить. Это может быть связано с появлением вибраций, погрешностью базирования детали и закрепления технологической и инструментальной оснастки, износом режущего инструмента, точностью контроля и др.

Также было выявлено, что недостаточно исследований в области установления зависимостей между качеством обработки крупногабаритных деталей и вибрациями режущего инструмента, погрешностью базирования детали и закрепления технологической и инструментальной оснастки, износом режущего инструмента, точностью контроля.

В связи с этим исследования направленные для решение проблемы обеспечения качества обработки и точности расположения ступенчатых поверхностей отверстий крупногабаритных деталей являются **актуальной задачей**.

**Целью работы** является повышения точности и качества изготовления крупногабаритных деталей путем разработки и применения специальных конструкции режущего инструмента и контрольно-измерительных средств.

**Объект исследования:** Технологии обработки и методы контроля ступенчатых отверстий крупногабаритных деталей.

**Предмет исследования:** Закономерности процесса растачивания ступенчатых отверстий крупногабаритных деталей.

**Методы исследования:** Для проведения исследования использованы методы: анализа технологии изготовления крупногабаритных деталей технологического оборудования, экспериментального исследования, планирования и обработки результатов, контроля ступенчатых отверстий, компьютерного моделирования конструкции специальной борштанги и комбинированного расточного инструмента.

**Задачи исследования:**

1. Анализ проблемы обеспечения точности и качества изготовления крупногабаритных деталей в условиях отечественных машиностроительных производств.

2. Исследование существующих способов механической обработки и методов контроля, а также конструкции режущих инструментов и контрольно-измерительных средств, используемые при изготовлении крупногабаритных деталей.

3. Разработка конструкции расточного инструмента для одновременной обработки ступенчатых отверстий крупногабаритных деталей.

4. Оптимизация и расчет конструкции расточного инструмента на статическую жесткость и прочность, а также исследование влияния амплитудно-частотных характеристик инструмента на точность обработки путем моделирования в компьютерной программе ANSYS Workbench.

5. Экспериментальное исследование процесса одновременного растачивания ступенчатых отверстий специальным расточным инструментом;

6. Испытание опытного образца специального нутромера для контроля отверстий крупногабаритных деталей.

7. Расчет экономической эффективности разработанной технологии и разработка рекомендаций для внедрения в производство.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Экспериментально установлено, что при одновременной обработке ступенчатой отверстий влияние режимов резания на показатели качества обработанной поверхности носит неоднозначный характер:

- увеличение частоты вращения шпинделя и значения глубины резания положительно влияют на шероховатость обработанной поверхности, а на твердость оказывают отрицательное влияние;

- увеличение подачи отрицательно влияет на шероховатость, при этом положительно сказывается на твердости обработанной поверхности.

2. Установлено, что при одновременной обработке ступенчатой отверстий на оптимальных значениях режима резания ( $S=0,26$  мм/об;  $n=1250$  об/мин;  $t=1,0$  мм) обеспечивается:  $Ra \leq 1,25$  мкм;  $HB190$  кгс/мм<sup>2</sup>.

3. В результате экспериментальных исследований установлены зависимости:

- для оценки шероховатости обработанной поверхности

$$Ra = 2,6 \cdot \lg(X_1) + 1,35 \cdot e^{2,34X_2} + 9,42e^{-1,16 \cdot 10^{-3} \cdot X_3} - 3,868;$$

- для оценки твердости обработанной поверхности

$$HB = 50,344 \cdot X_1^2 - 66,81 \cdot X_1 + (X_2 / (2,2 \cdot 10^{-4} + 4,31 \cdot 10^{-3} \cdot X_2)) - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot X_3^2 + 3,56 \cdot 10^{-2} \cdot X_3 + 416,58.$$

4. Впервые с помощью компьютерной программы ANSYS Workbench выполнены расчет конструкции специальной борштанги на статическую жесткость и прочность, а также исследовано влияния амплитудно-частотных характеристик комбинированного расточного инструмента на точность обработки. В результате установлено, что:

- значение деформации у вершины режущей пластины составляет по осевому направлению 23,8 мкм и в радиальном направлении 36,2 мкм;

- при значениях консольного вылета расточных резцов 95 мм и 108 мм выполняется условия статической жесткости расточного инструмента;

- радиальное перемещение в резце расточного инструмента при оптимальной частоте ( $v=20,83$  Гц) составляет 9,9 мкм и при резонансной частоте ( $v_p = 1167,1$  Гц) 67,2 мкм, которая превышает в 7 раз.

### **Положения выносимые на защиту:**

1. Метод одновременной обработки ступенчатой отверстий и конструкция специального комбинированного расточного инструмента.
2. Способ контроля отверстий больших диаметров и конструкция специального нутромера.
3. Результаты экспериментального исследования процесса одновременного растачивания ступенчатых отверстий специальным комбинированным расточным инструментом.
4. Уравнения зависимости шероховатости и твердости поверхности от режимов резания после обработки специальным комбинированным расточным инструментом.
5. Результаты расчета конструкции расточного инструмента и исследования влияния амплитудно-частотных характеристик инструмента на точность обработки с помощью программы ANSYS Workbench.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задачи, адекватностью теоретических и экспериментальных исследований. Получен патент Республики Казахстан (РК) на конструкцию специальной борштанги. На методику исследование влияния амплитудно-частотных характеристик комбинированного расточного инструмента на точность обработки ступенчатой отверстий, расчета конструкции борштанги на статическую жесткость и прочность, а также на методику оптимизации конструкции специальной борштанги для обработки ступенчатых отверстий получено свидетельство РК о государственной регистрации прав на объект авторского права на интеллектуальную собственность.

**Практическая значимость** заключается в разработке метода одновременной обработки ступенчатых отверстий, конструкций специальной борштанги, комбинированного расточного инструмента и специального нутромера, а также методики исследования влияния амплитудно-частотных характеристик комбинированного расточного инструмента на точность обработки ступенчатых отверстий, расчета конструкции борштанги на статическую жесткость и прочность, оптимизации конструкции специальной борштанги для обработки ступенчатых отверстий и рекомендации для производства.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач и разработке методики исследования, разработке конструкции специальной борштанги, разработке конструкции и изготовлении специального комбинированного расточного инструмента и нутромера для контроля отверстий, определение оптимальных режимов обработки, организации и проведении экспериментальных исследований одновременной обработки ступенчатой отверстий.

**Диссертационная работа направлена** на выполнение основных задач Государственной программы индустриально-инновационного развития РК на 2015-2019 и 2020-2025 годы и выполнена в рамках инициативной темы кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» (ТОМиС) «Разработка ресурсосберегающих технологии обработки крупногабаритных деталей». А также основные результаты диссертации внедрены в производство ТОО "Maker" (Мэйкер) – КЛМЗ и в учебный процесс НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» (КарТУ им. А. Сагинова) при подготовке бакалавров и магистрантов по специальности Машиностроение.

**Апробация работы.** Основные положения докторской диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры ТОМиС НАО «КарТУ им. А. Сагинова» (2019-2022 гг.), на заседании кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета (2021 г.), на заседании научного семинара при ДС КарТУ им. А. Сагинова, а также на конференциях международного уровня и рабочих совещаниях машиностроительных предприятий:

- международная научно-практическая конференция по комплексному инновационному развитию Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы (г. Навои, 2024 г.);

- международная мультидисциплинарная конференция «Новейшие научные исследования» (США, 2024 г.);

- Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Механики XXI века» (г. Братск, 2024г.)

- на техническом совещании ТОО "Maker" (Мэйкер) – КЛМЗ, Караганда, 2020 г.

### **Публикации**

По результатам докторской диссертации опубликовано 15 работ на русском, казахском и английском языках, в том числе: 4 статьи в международном научном издании, по данным базы Clarivate или входящем в базу Scopus, 3 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки РК, 1 статья в других изданиях. Доклады представленной работы были рассмотрены на 3 международных конференциях. Получен 1 патент РК на полезную модель и 3 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права.

**Объем и структура работы.** Докторская диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 154 страницах машинописного текста, которые поясняются 69 рисунками, 16 таблицами, списком литературы из 113 наименований, 9 приложениями.

## Заклучение

Научные исследования выполненные в условиях отечественных машиностроительных производств, показали, что существует проблема при изготовлении крупногабаритных деталей. Выявлено, что самым трудоемким является обеспечение точности и качества обработки ступенчатых отверстий больших диаметров. При выполнении научно-исследовательских работ направленные для решения данной проблемы были получены следующие результаты.

1. Разработан метод одновременной обработки ступенчатых отверстий, разработаны конструкции специальной борштанги и комбинированного расточного инструмента, а также изготовлен опытный образец комбинированного расточного инструмента.

2. Разработан способ контроля отверстий больших диаметров и конструкция специального нутромера, а также изготовлен опытный образец.

3. При проектировании конструкции расточных инструментов с помощью компьютерной программы ANSYS Workbench выполнен расчет конструкции специальной борштанги на статическую жесткость и прочность, а также исследовано влияния амплитудно-частотных характеристик комбинированного расточного инструмента на точность обработки.

4. Для одновременной обработки ступенчатой отверстий определены оптимальные значения режимов резания -  $S=0,26$  мм/об;  $n= 1250$  об/мин;  $t=1,0$  мм.

5. Путем обработки результатов исследований были выявлены зависимости:

– для оценки шероховатости обработанной поверхности

$$Ra = 2,6 \cdot \lg(X_1) + 1,35 \cdot e^{2,34X_2} + 9,42e^{-1,16 \cdot 10^{-3} \cdot X_3} - 3,868;$$

– для оценки твердости обработанной поверхности

$$HB = 50,344 \cdot X_1^2 - 66,81 \cdot X_1 + (X_2 / (2,2 \cdot 10^{-4} + 4,31 \cdot 10^{-3} \cdot X_2)) - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot X_3^2 + 3,56 \cdot 10^{-2} \cdot X_3 + 416,58.$$

6. Годовой экономический эффект от использования предлагаемого технологического процесса изготовления одной детали «станина» насоса погружного составляет 26375,325 тенге. При этом экономический эффект на годовую программу выпуска детали «станина» составляет 1055013 тенге.

7. Результаты диссертационной работы внедрены в производство ТОО "Maker" (Мэйкер) – КЛМЗ. Ожидаемая экономическая эффективность составляет ~ 1,2 млн. тенге в год.