

АННОТАЦИЯ

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

БЕРГ АЛЕКСАНДРЫ СЕРГЕЕВНЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Актуальность диссертационной работы. Диссертация выполнена в рамках государственной программы по развитию машиностроения в Республике Казахстан (2010-2014гг.) и в рамках инвестиционных проектов, вошедших в «Карту индустриализации» Казахстана на 2010-2014 годы, Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан (РК) на 2015-2019 и 2020-2025 годы, а также «Проекта по усилению промышленной безопасности в Центральной Азии», на соискание степени доктора философии PhD по направлению подготовки 8D071 - «Инженерия и инженерное дело», по образовательной программе 8D07101 - «Машиностроение».

Вопрос, непосредственно связанный с обеспечением требуемого технического уровня, а также экономической эффективностью производства станков, является частью общей проблемы машиностроения. На сегодняшний день в связи с масштабным развитием машиностроительной отрасли Казахстана и высоким требованиям, предъявляемым к длинномерным цилиндрическим деталям, остро встал вопрос о необходимости получения все более точной и качественной продукции. Все это связано с тем, что точность обработки деталей напрямую зависит от работоспособности станка, от его виброустойчивости, жесткости его конструкции и возникающем в ней прогибе. При работе станка большим нагрузкам подвергаются отдельные элементы станка – станина, основание, опоры. В связи с этим возросла необходимость в новых технологиях и материалах для изготовления элементов станков.

Существуют различные способы борьбы с недостаточной жесткостью конструкций металлорежущих станков. Конструктивные формы присоединения направляющих к стенкам станины могут существенно влиять на баланс упругих перемещений станка, а также на собственные напряжения в отливках в связи с неравномерным охлаждением стенок станины и направляющих. Также для решения имеющихся проблем используют армирование конструкции. В таких конструкциях арматура воспринимает растягивающие усилия. Для такой арматуры используется сталь повышенной

прочности, далее с помощью расчета принимается решение о количестве арматуры. Поперечные стержни, или хомуты, воспринимают поперечную нагрузку балки. Также используют сварные арматурные каркасы, когда стержни арматуры соединяют вязальной проволокой. В настоящее время основным видом армирования железобетонных конструкций является сварные арматурные каркасы и сетки, которые изготавливают на специальных сварных машинах.

К недостаткам таких способов можно отнести то, что при использовании стандартной технологии изготовления металлорежущих станков из чугуна и стали происходит удлинение срока изготовления станка из-за необходимости предварительно изготовить модели и стержневые ящики, а также выдержать отливку до начала механической обработки и после обдирки в течение довольно длительного времени для снятия внутренних напряжений. Возможный брак литья, причем некоторые пороки обнаруживаются лишь в процессе механической обработки, необходимость оставлять на обрабатываемых поверхностях отливки довольно большие припуски – что влечет за собой большой расход металла и, следовательно, увеличение затрат. При длительном вылеживании отливок замедляется оборачиваемость оборотных средств предприятия и возрастает стоимость незавершенной продукции. Изготовление станков из стали и алюминия также имеет ряд недостатков, а именно то, что при использовании данных материалов происходит большой расход материала, так как нет возможности сохранить достаточную жесткость конструкции и уменьшить вес.

Несущие системы станков должны обеспечивать и сохранять в течение требуемого срока службы правильное расположение и возможность точных и плавных взаимных перемещений инструмента и изделий вхолостую и при резании.

Для обеспечения этих требований конструирование станин и корпусных деталей в настоящее время подчиняется критериям жесткости и износостойкости направляющих, а также условиям технологичности. Как правило, условия прочности для этих деталей при выборе их размеров и материала по указанным критериям удовлетворяются автоматически. Расчеты и конструирование несущих систем по виброустойчивости до настоящего времени не разработаны.

В связи с этим работа, направленная на исследование и совершенствование конструкции длинномерной станины металлорежущего станка с оптимизированной геометрии, технологии ее изготовления из полимербетона, **является актуальной.**

Гипотезой исследования является предположение о возможности увеличения жесткости конструкции длинномерного металлорежущего станка и уменьшение прогиба за счет применения полимербетонного материала, оптимизированной геометрии в виде ребер жесткости с переменным шагом и

повышение износостойкости направляющих станка путем нанесения газотермического напыления.

Целью исследования является установление параметров и зависимостей для разработки технологического оснащения из полимербетона для обработки длинномерных цилиндрических поверхностей.

Для достижения цели решены следующие **задачи**:

- Анализ особенностей существующего оборудования;
- Анализ предшествующих исследований по изучению полимербетона и выявления особенностей данного вида композита при изготовлении длинномерных деталей;
- Исследование особенностей полимербетона, как основного компонента изготовления длинномерных деталей;
- Разработка оптимизированной геометрии станины металлорежущего станка повышенной прочности, жесткости не применяя металл;
- Обеспечить возможность изготовления длинномерных станин и повысить износостойкость направляющих;
- Уменьшение себестоимости и материалоемкости длинномерных станин.

Методы исследования. Комплексный метод научных исследований являлся основой выполнения диссертационного исследования. Теоретические исследования базировались на использовании методов теории численных решений математических задач с использованием вычислительной техники и имитационного моделирования, а также научных положений теоретической механики и физического моделирования.

Экспериментальные исследования заключались в проведении пассивного многофакторного эксперимента с использованием результатов моделирования и результатов эксперимента малых образцов и анализом данных в программе Excel.

В процессе проведения диссертационных исследований использовались следующие пакеты прикладных программ: AutoCAD, КОМПАС-3D Viewer, EXCEL, Autodesk Inventor, BETA CAE System, ABAQUS, META/ANSA.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- Установление зависимости определяющих оптимальную геометрию станины металлорежущего станка на основе криволинейных ребер жесткости с переменным шагом для обработки длинномерных деталей;
- Установление зависимости влияния геометрических параметров криволинейных ребер на жесткость станины;
- Установление зависимости влияния времени перемешивания компонентов полимербетонной смеси, частоты вращения рабочего органа смесителя на геометрию длинномерной станины металлорежущего станка;
- Установление технологических зависимостей при нанесении износостойких покрытий на поверхности из полимербетона.

Научные положения, выносимые на защиту:

- Результаты экспериментального исследования прочностных свойств различных составов полимербетона для изготовления длинномерной станины металлорежущего станка.
- Результаты экспериментального исследования статически неопределимой длинномерной станины металлорежущего станка на сжатие.
- Технологический процесс нанесения газотермического напыления на направляющие длинномерного металлорежущего станка.
- Зависимость оптимальной геометрии металлорежущего станка от геометрических параметров ребер жесткости, времени перемешивания компонентов полимербетонной смеси, частоты вращения рабочего органа смесителя.
- Результаты проведения моделирования различных конструкций длинномерных станин металлорежущих станков с помощью программного комплекса BETA CAE System, ABAQUS, методом конечных элементов.

Автор защищает:

1. Конструктивные решения
2. Математическую модель
3. Результаты экспериментальных исследований
4. Методику напыления

Объектом исследования служит станина металлорежущего станка для обработки длинномерных поверхностей.

Предмет исследования – Оптимальная геометрия станины металлорежущего станка для обработки длинномерных поверхностей.

Практическая значимость исследования заключается:

- Применение новой конструкции станины из полимербетона позволит получить возможность изготовления длинномерных изделий;
- Получить возможность изготовления технологического оснащения в условиях заинтересованных предприятий, не имеющих возможности изготовления станин из металла;
- Газотермическое напыление позволит повысить износостойкость направляющих станины металлорежущего станка.

Результаты исследований надлежащим методом оформлены и **внедрены** в рабочий процесс ТОО «HansaFlex – Гидравлик».

Краткое содержание.

В первой главе выполнен анализ состояния проблемы технологического оснащения для обработки длинномерных цилиндрических поверхностей. Исследованы используемые геометрии конструкций станин металлорежущих станков для обработки длинномерных цилиндрических поверхностей. Исследованы проблемы, возникающих при обработке длинномерных деталей. Проведен анализ применения различных материалов и технологии изготовления станин металлорежущих станков.

Во второй главе произведено конструирование оптимальной геометрии станины длинномерного металлорежущего станка и изысканию рациональных составов полимербетона и газотермического напыления. Произведен выбор параметров оптимизации геометрии и выбор оптимальной конструкции станины длинномерного металлорежущего станка. Проведен расчет влияния внутренних силовых факторов и определены опасные сечения станины длинномерного металлорежущего станка. Разработана технология конструирования станины длинномерного металлорежущего станка с оптимизированной геометрией. Произведено изыскание рационального состава полимербетона для изготовления длинномерной станины металлорежущего станка, исследованы прочностные свойства образцов методом конечных элементов. Проведен подбор составов порошковых смесей, экспериментальные опыты по нанесению покрытий и исследования свойств полученных слоев газотермического напыления на направляющие длинномерного металлорежущего станка.

В третьей главе проведено математическое моделирование длинномерной станины металлорежущего станка из полимербетона с оптимизированной геометрией. Проведен модальный анализ корпусов станин металлорежущего станка из полимербетона и серого чугуна. Проведен статический анализ длинномерной станины металлорежущего станка методом конечных элементов с помощью программного комплекса BETA CAE System, ABAQUS. В ходе моделирования были определены максимальные деформации, а также выявлены локальные напряжения моделей, а также сравнены результаты между собой при разных геометриях станин металлорежущего станка.

В четвертой главе представлена методика и результаты экспериментальных исследований. Выполнено планирование проведения полного факторного эксперимента, рассмотрено влияние на прогиб длинномерной станины металлорежущего станка шага спирали, частоты вращения рабочего органа смесителя и времени перемешивания смеси на прочность конструкции.

В пятой главе произведен технико – экономический расчет изготовления длинномерной станины металлорежущего станка из полимербетона с оптимизированной геометрией в виде ребер жесткости с переменным шагом. Рассчитана полная себестоимость изделия, определена прибыль предприятия и период окупаемости продукции.

Личный вклад диссертанта. Работа выполнена автором лично, автор выполнил патентный анализ известных конструкций, обзор теоретических исследований в области металлорежущих станков. Поставлена задача и разработана методика исследования, сконструирована и смоделирована геометрии длинномерной станины металлорежущего станка, определены оптимальные составов полимербетона и газотермического напыления, организованы и проведены экспериментальные исследований по определению

прочностных свойств длинномерной станины металлорежущего станка из полимербетона с оптимизированной геометрией.

Публикация и апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в 11 научных работах на русском и английском языках, в том числе: 2 статьи в международном научном издании, по данным базы Clarivate или входящем в базу Scopus (Applied Sciences (Switzerland) 75% (Q1), Coatings 64% (Q2)), 2 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки РК. Доклады представленной работы были рассмотрены на 5 международных конференциях. Получен 1 патента РК на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права. Во всех публикациях представлены материалы и результаты теоретических и экспериментальных исследований изготовления длинномерной станины металлорежущего станка из полимербетона. Дополнительно материалы диссертации представлены в 6 тезисах международных научно – практических и научно – методических конференций. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных научных конференциях: XIX Международная научно-практическая конференция «International innovation research», (г. Пенза, 2019 г.), Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11), (г. Караганда, 2019 г.), Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12), (г. Караганда, 2020 г.), Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №13), (г. Караганда, 2021 г.), X Международная научно-практическая конференция «Техника и технологии машиностроения» (Омск, 2021 г.), Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №15), (г. Караганда, 2023 г.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста, состоит из обозначений и сокращений, введения, 5 разделов и заключения, которые поясняются 64 рисунками, 34 таблицами, списком литературы из 128 наименований.

Автор выражает благодарность зарубежному научному консультанту к.т.н., профессору **Витаугасу Турле** и научному консультанту PhD, заведующему кафедрой «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» **Юрченко В.В.** за помощь в выборе научного направления, помощь в освоении методик расчетов, за ценные рекомендации и научное сопровождение, помощь в организации и проведении аналитических исследований и методическую помощь при выполнении работы, за организацию и помощь при прохождении зарубежной научной стажировки.

Автор выражает благодарность д.т.н., профессору кафедры «Транспортная техника и логистические системы» **Кадырову А.С.** за помощь в исследованиях, ценные советы и научные консультации.

Автор благодарит и выражает глубокую признательность к.т.н., профессора кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» **Жаркевич О.М.**, к.т.н., доцента «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» **Никоновой Т.Ю.** за научное сопровождение, ценные советы и замечания, а также за поддержку на протяжении всего времени обучения в докторантуре и написании диссертационной работы.

Результаты исследования и основные выводы. Диссертация содержит новые научно-обоснованные результаты, использование которых обеспечивает решение важной прикладной задачи разработки оптимальной конструкции длиномерной станины металлорежущего станка:

1) Изучены имеющиеся виды конструкций длиномерных станин металлорежущих станков. В качестве оптимальной выбрана конструкция с оптимизированной геометрией в виде ребер жесткости с переменным шагом.

2) Изучены возможности замены материала длиномерной станины металлорежущего станка. В качестве оптимального материала выбран полимербетон с составом № 2.

3) Изучены возможности использования газотермического напыления с целью повышения износостойкости и уменьшения напряжений направляющих длиномерных металлорежущих станков. В качестве оптимального состава выбран состав Ni-7Cr-3Fe + 60% WC.

4) Получено эмпирическое уравнение множественной регрессии при определении прогиба в зависимости от шага спирали, частоты вращения рабочего органа смесителя и времени перемешивания смеси имеет вид: $Y = -0,029 + 0,002X_1 + 2,468X_2 - 0,0001X_3$.

5) Сконструирована конструкция длиномерного токарного станка с оптимизированной геометрией в виде ребер жесткости с переменным шагом из полимербетона, изменена конструкция в месте соединения опоры балки на тумбы, для снижения напряжений. Благодаря оптимизации были снижены напряжения, которые возникали из – за недостаточной жесткости конструкций из чугуна.

6) Разработана оптимальная технология изготовления длиномерного металлорежущего станка с оптимизированной геометрией из полимербетона.

7) Разработана оптимальная технология нанесения газотермического напыления на направляющие длиномерного металлорежущего станка.

8) Годовой экономический эффект от использования предлагаемого метода изготовления составляет 4 524 008 тенге. Период окупаемости составил 2 года.