МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН

ДУХНИЧ ЮРІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 621.9

КОНСТРУЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОМПОНУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ГЕНЕРАТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

133 Галузеве машинобудування

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2019

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин
Гагалюк Андрій Валерійович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Паливода Юрій Євгенович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2019 р. о $9^{.00}$ годині на засіданні екзаменаційної комісії №____ у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №4, ауд. В1

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

a) Актуальність теми роботи.

Серед усього парку верстатного обладнання досить вагому частину займають токарні верстати, що у відсотковому співвідношення складає приблизно 30-40%.

Основним параметром, який визначає точність верстата є жорсткість всіх вузлів і сумарна жорсткість верстата загалом. Взаємодія цих деталей, через які замикаються сили, котрі виникають у процесі різання між заготовкою та інструментом в процесі різання утворюють несучу систему верстата. Оскільки, вузли токарного верстата монтуються на станині, а рухомі деталі відносно неї орієнтуються і переміщуються то саме її жорсткість, окрім жорсткості шпиндельного вузла, у першу чергу визначає точність верстата і є основним елементом у несучій системі верстата.

У процесі проектування конструктор повинен вирішити декілька суперечливих задач, зокрема:

- забезпечити жорсткість конструкції при максимально допустимих навантаженнях;
- розрахувати оптимальне або максимально ефективне використання матеріалу для забезпечення достатньої жорсткості конструкції.

Вирішення цих задач передбачає проведення ґрунтовних і складних розрахунків або використання прикладних САПР, зокрема такої, як Autodesk Inventor. Вона дозволяє побудувати 3D – модель станини токарного верстата або іншого вузла, задати силові фактори й разом із потужним математичним апаратом розрахувати вплив прикладених навантажень на конструкцію, що значно скоротить інтелектуальне й часове навантаження на інженера. В Autodesk Inventor 2016-2019 вбудовано модуль «Генератор форм», який базується на технології генеративного дизайну, яка здійснює пошук оптимальної конструкції об’єкта при максимально ефективному використанні матеріалу. Ця технологія стала досить популярною за останні 5 років і використовується інженерами всього світу для пошуку нових архітектурних форм, мостобудування, моделювання взуття, протезування кінцівок і різних виконавчих механізмів, а використання 3D друку дозволило втілити нові об’єкти в реальність.

b) Мета і завдання.

Метою роботи є пошук оптимальної конструкції станини токарного верстата горизонтального компонування з використанням методу генеративного моделювання. Цей метод передбачає отримання однієї або декількох конструкцій станини з різних матеріалів для забезпечення максимально необхідної жорсткості при меншій масі. Таким чином конструкція станини верстата є функцією від жорсткості і маси $K = f(k, m)$.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати конструкції та матеріали горизонтальних станин;
- проаналізувати методику розрахунку жорсткості станини;
- провести аналіз компоновок токарних верстатів;
- побудувати 3D-модель станини токарного верстата;

- порівняти масові характеристики при моделюванні оригінальної станини і станини отриманої методом генеративного моделювання при однакових навантаженнях.

Об'єкт, методи та джерела дослідження.

Об'єкт дослідження – станина токарного верстата горизонтального компонування.

Предмет дослідження – геометричномасові характеристики станини токарного верстата горизонтального компонування.

Методи дослідження. Проведення теоретичних досліджень базується на методах математичного моделювання, синтезу технічних систем та морфологічного аналізу, теоретичних основ теорії різання металів, розрахунку точності базування, закріплення і точності оброблення, а також на основі інженерної творчості та вибору раціональних технічних рішень.

c) Наукова новизна отриманих результатів.

Доведено можливість використання генеративного 3D-моделювання для проектування станин верстата.

d) Практичне значення отриманих результатів.

Результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати для аналізу поведінки конструкцій верстату

e) Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались під час роботи міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) і опубліковані в збірнику:

Гагалюк А.В. Дослідження навантажувальної здатності несучої системи токарного верстата аналітичним методом / Гагалюк А.В., Духнич Ю.П., Дерлиця К.А. // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) – Тернопіль: ТНТУ, 2019. С.59 – 60.

2. СТРУКТУРА РОБОТИ.

Робота складається із вступу, 9 розділів, висновків, списку літератури (41 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 107 сторінок, 16 таблиць, 42 рисунків.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

a) У **ВСТУПІ** означено актуальність теми магістерської роботи, визначено мету роботи, а також сформульовано завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети та комплексного наповнення дипломної роботи магістра.

b) **Перший «АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ»** описує попередньо проведені наукові теоретичні та практичні дослідження за дослідною тематикою магістерської роботи. Проведено аналіз станин токарних верстатів і матеріалу їх виготовлення. Описано поняття жорсткості верстатів, дано методи оцінки.

c) **У другому розділі «ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО**

КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ» проведено аналіз конструкторсько-технологічних особливостей однієї із деталей, яку обробляють на досліджуваному верстаті, проведені технологічні розрахунки, здійснено аналіз формоутворюючих схем, які реалізовуються на цьому верстаті при виготовленні цієї деталі. Сформовано структурно-кінематичну схему досліджуваного верстата. Приділено увагу аналізу компоновок верстатного обладнання подібного типу. Обґрунтовано обрання найбільш раціонального варіанту компоновки верстата для обраного типу верстатного обладнання.

d) **У третьому розділі «ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ НА РОЗРОБКУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК»** виконано обґрунтування організаційної форми виробництва, отримання заготовки деталі, її базування та оптимального проектування раціонального варіанту технологічного процесу механічної обробки. Призначено припуски, вибрано різальний та вимірювальний інструмент. Розраховано режими різання на різні операції механічної обробки, які є вихідними даними для розробки наступного розділу дипломної роботи.

e) **Четвертий розділ «ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ»** включає необхідний комплекс проектних розрахунків, які пов'язані із розробкою кінематичного ланцюга приводу головного руху верстата, розрахунком станини.

f) **У п'ятому розділі «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ»** проведено 3D – моделювання станини токарно-гвинторізного верстату 16К20 і проведено її статичний аналіз. Форму оптимізовано за допомогою модуля «Shape Generator» і сконструйовано нову станину. З отриманих графіків можна оцінити зміну переміщень вузлів верстата від прикладених сил.

g) **Шостий розділ «СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ (комп'ютерні розрахунки та автоматизоване проектування)»** містить дані про автоматизований розрахунок жорсткості станини.

h) **Сьомий розділ «ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ»** містить алгоритм економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних впроваджень. Розрахунковий економічний ефект становить 9488908 грн. на рік.

i) **Восьмий розділ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ»** містить вимоги з охорони праці під час виконання робіт на токарних верстатах. А в підрозділі Безпека в надзвичайних ситуаціях описано про техногенні небезпеки та шляхи боротьби і запобігання.

j) **Дев'ятий розділ "ЕКОЛОГІЯ"** описує актуальність охорони навколишнього середовища, забруднення довкілля, яке виникає внаслідок реалізації дипломного проекту та заходи по зменшенню забруднення.

4. ВИСНОВКИ

На основі проведеного магістерського дослідження можна зробити наступні висновки та рекомендації:

1. У першому розділі проведено літературний та інформаційний пошук, з якого випливає, що використання методів генеративного моделювання та топологічної оптимізації є прогресивним та перспективним методом

проектування.

2. Комп’ютерне моделювання значно спрощує і пришвидшує проведення досліджень, але для його підтвердження важливо правильно задати силові фактори, які необхідно розраховувати аналітичними методами. Разом з тим аналітичний розрахунок є теоретичним підтвердженням проведених досліджень.
3. Для максимальної правдивості результатів досліджувана модель має бути максимально схожа з оригіналом. Але для кращого отримання результатів краще працювати зі збіркою. Це буде краще відтворювати реальні умови навантажень.
4. Проведені дослідження типових об’єктів методом генеративного моделювання і різних галузях науки довели, що на жорсткість і міцність конструкції впливає не кількість матеріалу, а його розподілення в об’ємі.
5. З вищеперелічених пунктів можна зробити узагальнення , що дані методи проектування не лише можна, а й необхідно використовувати у верстатобудуванні, що суттєво зможе зекономити використання металу.

5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Ковальов В.Д. Натурні випробування крутної жорсткості станин важких токарних верстатів / В.Д. Ковальов, Я.С. Антоненко, Б.Ю. Виганяйло // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Сер.: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University «KhPI» : coll. works. Ser.: Techniques in a machine industry. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 94-98.
2. Методические указания к выполнению контрольной работы и экзамена по дисциплине «Конструирование и расчет станков и станочных комплексов» для студентов заочного отделения специальности 6.050.503 / Сост.: В.Д.Ковалев, М.В. Шаповалов – Краматорск: ДГМА, 2012.- 38 с.
3. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках / В.В.Шанайда. Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. − 163 с.
4. Гагалюк А.В. Дослідження навантажувальної здатності несучої системи токарного верстата аналітичним методом / Гагалюк А.В., Духнич Ю.П., Дерлиця К.А. // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) – Тернопіль: ТНТУ, 2019. С.59 – 60.
5. Кривий П.Д. Трудомісткість конструювання та виготовлення металорізальних і деревообробних верстатів: Навчальний посібник/ Кривий П.Д., Шарик М.В., Сотник І.П. – Тернопіль: ТДТУ, 2005. – 128 с.
6. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Інтегрований курс безпеки життєдіяльності (теоретичні основи): Навч. посіб. - Кам'янець-Подільський: Буйницький О .А. ,2009 . - 200 с .
7. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Безпека життєдіяльності та охорона праці (Практичний курс): Навчальний

посібник . - Кам'янець-Подільський: "Думка", 2010 - 152 с
8. Васильчук М.В., Медвідь М.В., Сачков Л.С. Збірник нормативних документів з безпеки життєдіяльності . – К.: Фенікс, 2000 . –
9. Голубець М А., Кучерявий В.П.,Генсіру к СА. таін. Конспект лекцій з курсу «Екологія та охорона природи» (теоретичні основи загальної екології, охорони природи, комплекс природоохоронних заходів). — К.: УМКВО, 1990. — 216 с.
10. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці: Навчально-методичний комплекс для підготовки спеціалістів ступеня «бакалавр» III-IVрівнів акредитації для всіх напрямків підготовки / М.М.Сакун, І.В.Москалюк, В.Ф.Нагорнюк; за редакцією Сакуна М.М. – Одеса: Видавництво, 2017. – 400 с.

6. АНОТАЦІЇ

Духнич Ю.П. «Конструювання і дослідження несучої системи токарного верстата горизонтального компонування з використанням методу генеративного моделювання». 133 - Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2019 р.

При виконанні магістерської випускної роботи проведено аналіз конструкцій станин верстатів і матеріалів, з яких їх виготовляють їх. Проведено аналіз нових технологічних і конструкторських рішень. Розраховано режими різання і визначено граничні силові фактори, які впливають на конструкцію верстата. Проведено аналітичний розрахунок жорсткості конструкції спроектованої станини за допомогою пакета Mathcad. Сформовано 3D-модель станини токарно-гвинторізного верстата і досліджено її напружено-деформований стан. Проведено економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень. Виконані економічні розрахунки показали, що комплекс робіт по розробці технічної документації та організаційно-підготовчих заходів щодо впровадження елементів модернізації верстатного обладнання складає 9488908 грн. Проведено заходи при роботі на металообробному обладнанні даного типу та аналіз дій та правил, які необхідно виконувати при виникненні техногенних аварій. Розроблено питання охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: станина, жорсткість, 3D-модель, генератор форм, моделювання

Duhnych Yu.P. «Design and study of a horizontal lathe load-bearing system using generative modeling method» 133 – industrial engineering; Ternopil Iven Pul’uj National Technical University; Ternopil, 2019.

In the course of master's degree work, the analysis of the machine structures of the machines and the materials from which they are made is carried out. New technological and design solutions are analyzed. Cutting modes have been calculated and the limiting force factors affecting the machine design have been determined. An analytical calculation of the rigidity of the design of the designed frame using the Mathcad package was carried out. A 3D model of the lathe of a lathe-screw machine has been formed and its stress-strain state has been investigated. The economic

substantiation of the made engineering decisions is made. The performed economic calculations showed that the complex of works on the development of technical documentation and organizational and preparatory measures for the implementation of elements of modernization of machine equipment is 9488908 UAH. Measures were taken when working on metalworking equipment of this type and an analysis of actions and rules to be followed in case of anthropogenic accidents. Environmental issues have been developed.

Keywords: frame, stiffness, 3D model, shape generator, modeling