

UDC 69

Poezhaeva E.V., Tonkov E.Yu., Tonkova K.A. Experimental and analytical study of the strength characteristics of the design of a robot manipulator for positioning heavy loads

Экспериментально-аналитическое исследование прочностных характеристик конструкции робота-манипулятора для позиционирования тяжелых грузов

Poezhaeva E.V.,

Candidate of Technical Sciences
Perm National Research Polytechnic University.

Tonkov E.Yu.

5th year student of the specialty in “Design of Aircraft Engines and Power Plants”, Perm National Research Polytechnic University.

Tonkova K.A.

5th year student of the specialty in “Design of Aircraft Engines and Power Plants”, Perm National Research Polytechnic University.

Поезжаева Е.В.,

Кандидат технических наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Тонков Е.Ю.

Студент 5 курса специалитета направления «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Тонкова К.А.

Студентка 5 курса специалитета направления «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Abstract. *Relevance. Automation of production is necessary for any modern enterprise. The development of an industrial robotic manipulator will automate the following processes: working in conditions hazardous to humans (for example, with toxic substances), positioning heavy loads in space, packing large items, etc. The final product must have all the declared characteristics, therefore, at the design stage it is necessary to carry out a sufficient amount of computational and experimental work in order to develop a detailed design.*

Object of study: Designs of a robot manipulator. Research methods: experiment, modeling in the Ansys mechanical program Research results: Results of calculation of the design of the robot manipulator were obtained, taking into account the application of the maximum permissible load

Keywords: *manipulator, strength, calculation, finishing, design*

Аннотация. Актуальность. *Автоматизация производства необходима любому современному предприятию. Разработка промышленного робота-манипулятора позволит автоматизировать следующие процессы: работа в опасных для человека условиях (например, с токсичными веществами), позиционирование тяжелых грузов в пространстве, упаковка габаритных вещей и т.д. Конечный продукт должен обладать всеми заявленными характеристиками, поэтому на этапе проектирования необходимо произвести достаточное количество расчетно-экспериментальных работ с целью детальной проработки конструкции.*

Объект исследования: Конструкции робота-манипулятора. **Методы исследования:** эксперимент, моделирование в программе Ansys mechanical **Результаты исследования:** Получены результаты расчета конструкции робота манипулятора с учетом приложения максимально-допустимой нагрузки

Ключевые слова: манипулятор, прочность, расчет, доводка, конструкция

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Была разработана сема робота манипулятора, представленная на рисунке 1. Принцип работы данного робота основан на преобразовании вращающего момента двигателя и поступательно действующую силу, поворачивающую элементы, относительно друг друга посредством тяг поз. 13, 14. Бегунок поз. 10, 11, 12 шарнирно связаны с плечом, основанием и схватом манипулятора соответственно, то есть эти элементы неподвижны относительно связок, но могут вращаться вокруг оси, перпендикулярной оси вращения двигателя. При вращении двигателя поз. 5, элементы поз. 10, 11, 12 преобразуют вращающий момент в силу, которая с помощью плеча (соединения бегунка с соответствующим элементом) поворачивает стрелу манипулятора и создает на ней выходной рабочий момент. Плечо поворота поз. 1, 2 и схвата манипулятора (перпендикуляр к оси двигателя от точки вращения элемента) меняется при движении, следовательно, и выходной момент изменяется и скорость вращения. Шпильки поз. 7, 8 и 9 преобразует моменты на двигателе в поступательные силы, одна из которых с помощью тяги поз.13 отклоняет плечо манипулятора относительно стрелы, вторая с помощью тяги поз. 14 отклоняет стрелу, а последняя служит для вращения схвата.

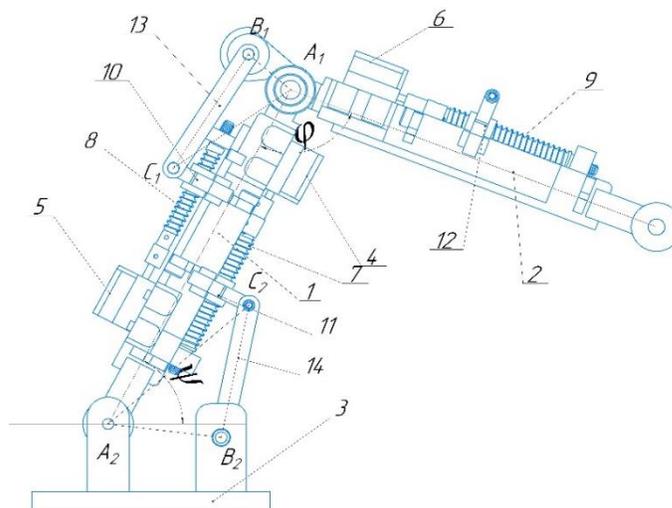


Рисунок 1 – Конструктивная схема манипулятора

В рамках проведения экспериментальных доводочных работ конструкции робота-манипулятор был выявлен дефект – трещина (рисунок 2) детали 11 (рисунок 1). Деталь 11 представляют собой перемещающуюся каретку, по средствам соединенных с ней тяг передается усилия для передвижения стрелы. Для оценки напряженно-деформированного состояние необходимо было произвести трехмерный расчет конструкции на прочность.

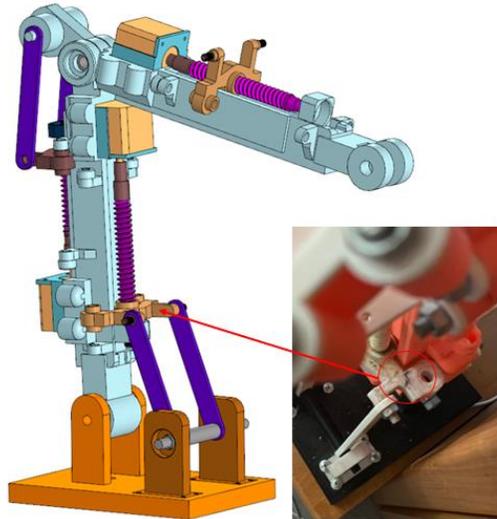


Рисунок 2 – Трещина, образовавшаяся в результате испытаний с нагрузкой

Расчет осуществлялся в программе Ansys mechanical, была приложена нагрузка эквивалентная статическому удержанию груза массой 2 кг. Направляющие с резьбой (рисунок 3) были зафиксированы.

Получены результаты распределения максимальных напряжений (рисунок 4). Также был смоделирован процесс деформации детали (рисунок 5).

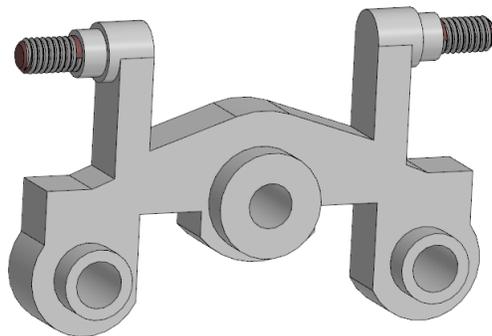


Рисунок 3 – Деталь с дефектом

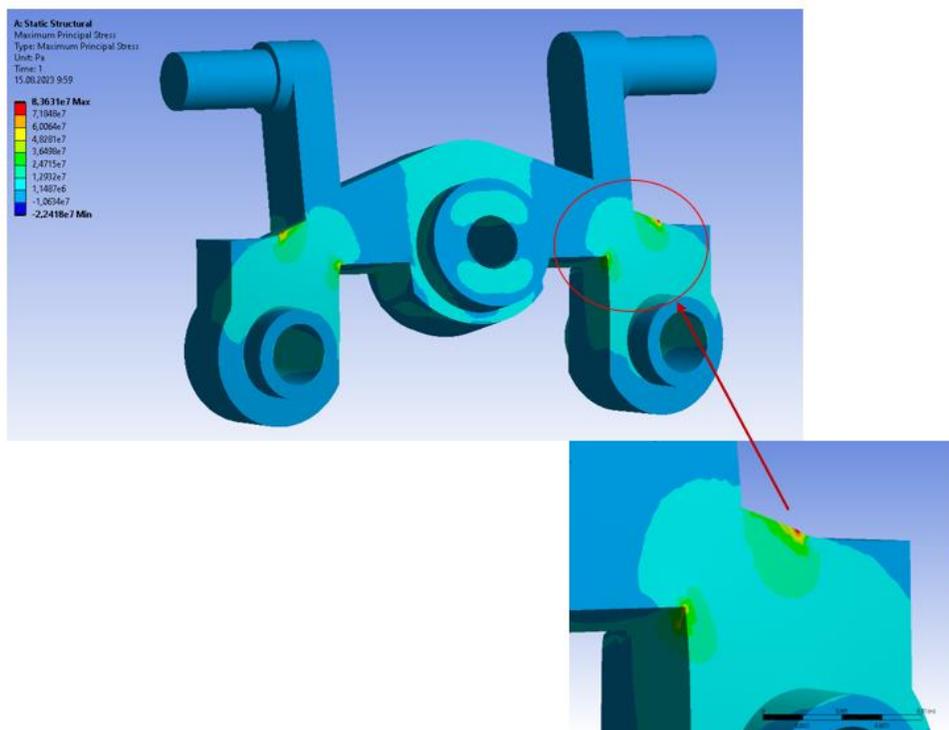


Рисунок 4 – Результаты 3-х мерного расчета (максимальные напряжения после приложения нагрузки)

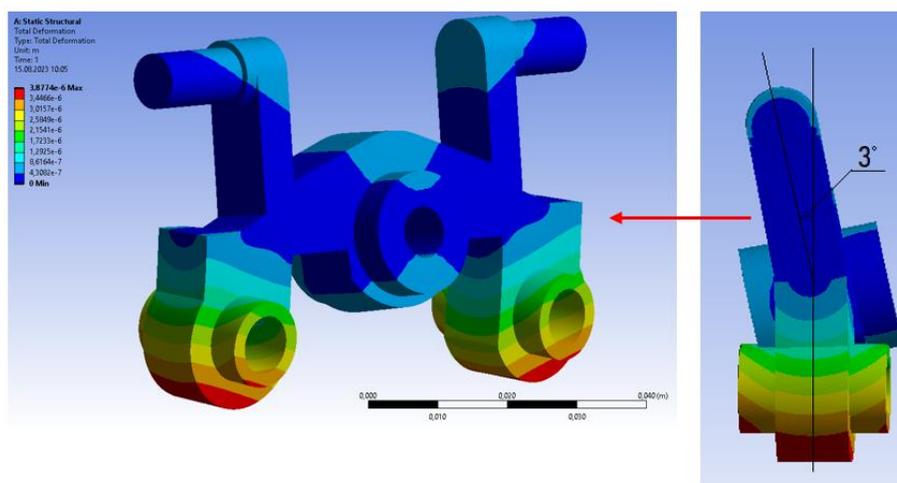


Рисунок 5 – Результаты 3-х мерного расчета (максимальные деформации после приложения нагрузки)

Дополнительно было произведено исследование нормальных напряжений, которое показало наличие локальных зон с максимальными напряжениями не только в месте появления трещины, но в других местах. Это показывает необходимость корректировки конструкции для исключения потенциальных дефектов (рисунок 6).

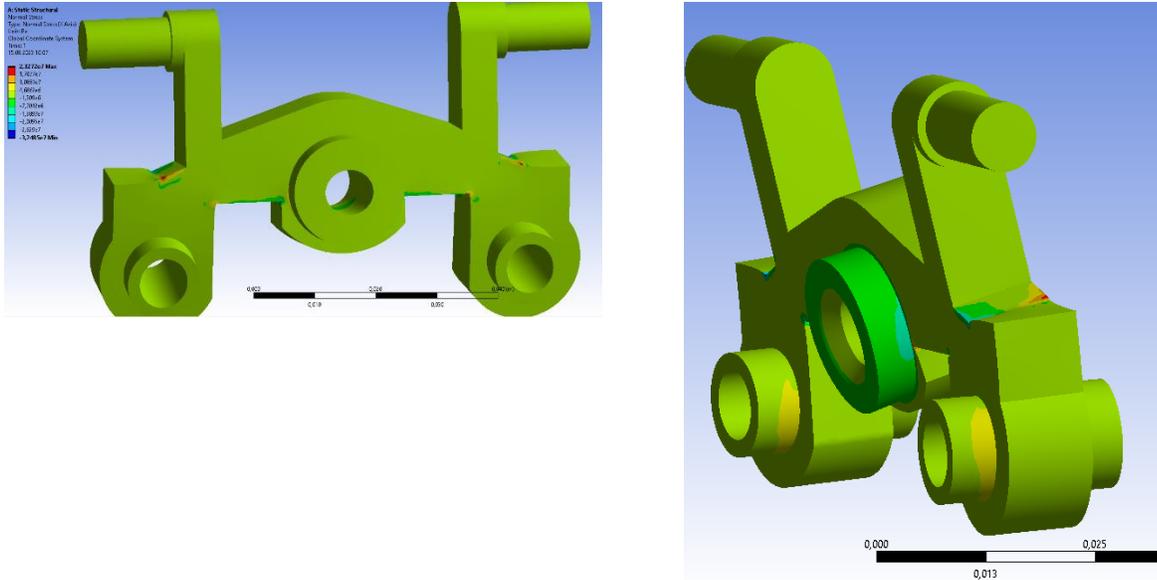


Рисунок 6 – Результаты 3-х мерного расчета (нормальные напряжения после приложения нагрузки приложения нагрузки)

Итерационным методом была определена предельно допустимая нагрузка равная 100 Н, которая отличалась от полученного значения во время эксперимента на 16 Н.

По результатам исследований было принято следующие решения по доработке конструкции;

1. Замена материала на ABS пластик (ранее использовался PETg пластик). ABS обладает наиболее высокими прочностными характеристиками (в сравнении с другими видами пластиков, применяемых при изготовлении деталей по FDM);
2. Локальное упрочнение места, где образовался дефекта;
3. Минимизация напряжений в месте разрушения по средствам добавления галтели (устранение концентратора напряжений).

Выводы.

При испытаниях конструкции робота-манипулятора с приложением различных нагрузок на звенья робота в особо нагруженных деталях образовались дефекты. Для минимизации материальных затрат, было принято решение о проведение прочностных 3х-мерных расчетов с максимально приближенными к реальности условиями.

Расчет осуществлялся в программе Ansys mechanical. Было произведено несколько расчетов с приложением различных нагрузок. Определена предельно допустимая нагрузка равная 100 Н, которая отличалась от полученного значения во время эксперимента на 16 Н. Расчет также показал несколько зон в которых возникают напряжения, превышающие допустимые.

Дальнейшая доводка конструкции будет осуществляются в 3 этапа: замена материала, локальное упрочение высоконагруженных зон, локальная минимизация напряжений. Эти мероприятия будут сопровождаться расчетно-экспериментальными работами с целью подтверждения заявленных характеристик робота-манипулятора.

References

1. Поезжаева Е. В. Искусственный интеллект в теории механизмов и машин и робототехнике : учебное пособие : в 3 ч. / Е. В. Поезжаева. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2020.
2. Поезжаева Е. В. Концепция развития робототехники : учебное пособие / Е. В. Поезжаева. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017.