

УДК 621.01

Моделирование напряженно - деформированного состояния витков резьбы в Ansys Workbench и результаты применения электромеханической обработки витков

Федоров Сергей Константинович (*)

momd@yandex.ru

Федорова Лилия Владимировна

fedorova.lv@bmstu.ru

Иванова Юлия Сергеевна

ivanovays@bmstu.ru

Коряков Михаил Николаевич

mkoryakov@bmstu.ru

Хуснетдинов Тимур Рустямович

timur_bmstu_rk@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена классическая задача о распределении нагрузки по виткам резьбы, сформулированная Н.Е. Жуковским. Приведены результаты моделирования резьбового соединения болта и гайки методом конечных элементов в программном комплексе Ansys Workbench. С целью повышения износостойкости резьбового соединения обосновано применения упрочнения резьбы электромеханической обработкой.

Ключевые слова: моделирование, резьба, износ, упрочнение, электромеханическая обработка

Modeling the stress-strain state of thread coils in Ansys Workbench and the results of applying electromechanical processing of coil threads

Fedorov Sergey Konstantinovich

momd@yandex.ru

Fedorova Lilia Vladimirovna

fedorova.lv@bmstu.ru

Ivanova Yulia Sergeevna

ivanovays@bmstu.ru

Koryakov Mikhail Nikolaevich

mkoryakov@bmstu.ru

Khusnetdinov Timur Rustyamovich

timur_bmstu_rk@mail.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The classical problem of load distribution over the threads, formulated by N. E. Zhukovsky, is considered. The results of modeling a threaded connection of a bolt and a nut by the finite element method in the Ansys Workbench software package are given. In order to increase the wear resistance of a threaded connection, the application of thread hardening by electromechanical processing is substantiated.

Keywords: modeling, threading, wear, hardening, electromechanical processing

Введение. Резьбовые сопряжения с метрической резьбой широко применяются для получения разъемных соединений. Обеспечение высокой износостойкости и прочности резьбовых соединений является одной из приоритет-

ных задач при изготовлении и восстановлении деталей машин и технологического оборудования во всех отраслях экономики РФ.

Результаты теоретических расчетов профессора Н.Е. Жуковского, моделирование и экспериментальные данные других исследователей, свидетельствует о неравномерном распределении нагрузки по виткам в резьбовом соединении [1–3]. Наибольшую нагрузку воспринимают два-три витка резьбы, причем первый виток несет не менее трети всей нагрузки. На следующих витках, вследствие уменьшения передачи нагрузки от болта на гайку, деформация и напряжения растяжения стержня, а также и деформация сжатия в гайке, нагрузка снижается.

При окончательном свинчивании, а также в процессе эксплуатации резьбовых соединений это приводит к износу наиболее нагруженных витков. При недостаточной твердости поверхностного слоя деталей происходит пластическое деформирование витков резьбы. Пластическое деформирование витков резьбы зависит от величины нагрузки и физико-механических свойств поверхностного слоя материалов болта и гайки. Резьба является конструктивным концентратором напряжений при формировании ее механическими и термическими методами появляются и технологические концентраторы напряжений (царапины, микротрещины, окисление, обезуглероживание, коробление). Обеспечить оптимальные свойства витков резьбы по геометрическим параметрам, микрогеометрии и физико-механическим свойствам — задача технологически сложная.

Материал и методы исследования. Произведем расчет резьбового соединения в программном комплексе Ansys Mechanical. Выбор программного продукта был основан на том, что линейка продуктов ANSYS Inc., в том числе продукт Mechanical позволяет решить практически любую задачу механики деформируемого твердого тела или получить сопряженное решение задачи механики с решением задач других. Напряженное и деформированное состояние болта и гайки определим методом конечных элементов. В качестве модели выберем соединение болт-гайка с резьбой М8 и шагом 1,25 мм. Так как задача обладает осевой симметрией, при моделировании воспользуемся двумерной постановкой. Материал деталей — сталь 35 ГОСТ 1050–88. Для более высокой точности решения построим сетку из четырехугольных элементов с квадратичной аппроксимацией. На витках резьбы сделаем сгущение сетки, поскольку в этой зоне наблюдаются наибольшие напряжения. Граничные условия: к болту приложена тянущая сила 6000 Н, гайка жестко закреплена по верхнему основанию. На контактирующих поверхностях задано условие трения с коэффициентом 0,15.

Основная часть. Ввиду симметрии резьбового соединения в качестве расчетной модели принята плоская, осесимметричная упругая модель. Резьба метрическая. Винтовая нарезка заменена кольцевыми выступами. В расчете учтены неравномерность растяжения стержня болта и сжатие тела гайки, а также скручивание тела гайки в радиальной плоскости. Неточности при изготовлении резьбы не учитывали. Общие настройки генератора сетки (рис. 1)

выглядят следующим образом: Метод построения сетки — Proximity and curvature. Этот метод задает измельчение сетки в областях искривления ребер модели. Relevance center и Span Angle Center выбраны Medium. Данные пункты соответствуют среднему значению плотности ячеек и размерам элементов на ребрах с учетом кривизны последних. Curvature normal angle — 5° , данный пункт выставляет максимально допустимый угол, который допускается охватить одним ребром элемента. Минимальный размер ячейки 0,01 мм, минимальный размер подобия 0,05, максимальный размер ячейки 0,05. Для лучшей сходимости сетку на рабочих гранях нужно сделать мелкой. Применим команду Sizing для рабочих граней болта и гайки.

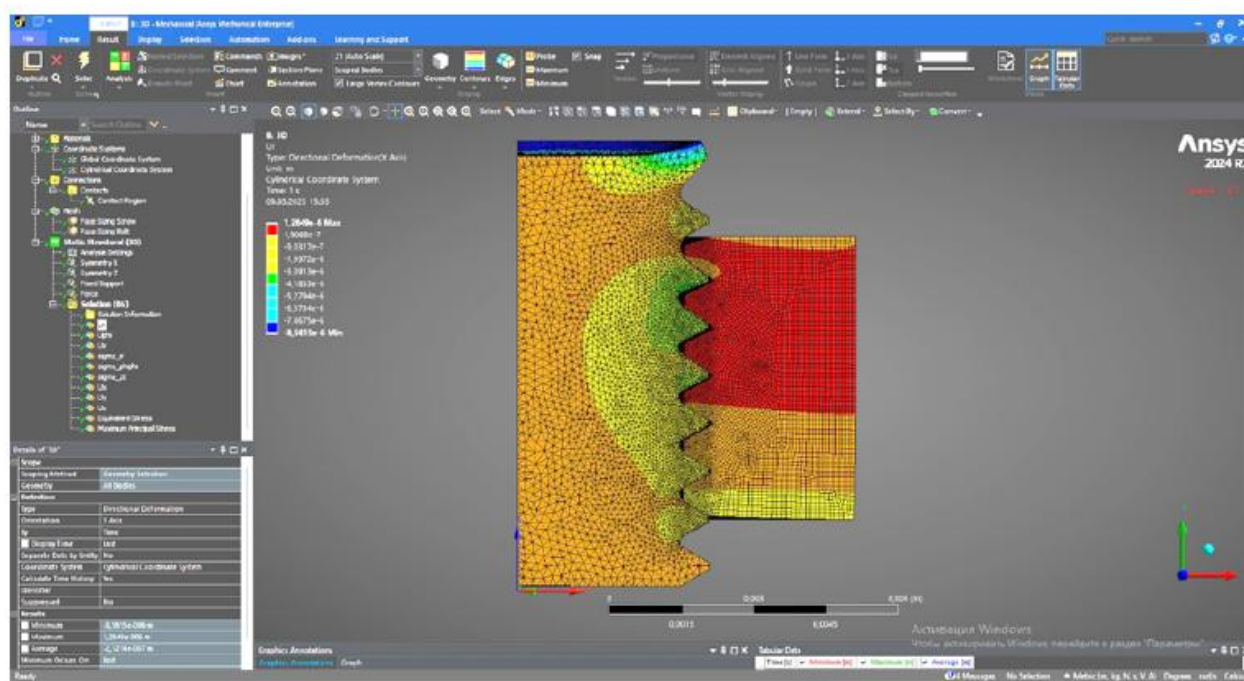


Рис. 1. Сгенерированная сетка

Размер сетки в данных местах установим 0,01 мм. Чтобы не допустить ошибки в расчете уменьшим сетку на верхней части гайки в точке пересечения граней, так как она может являться концентратором напряжений. В зоне влияния радиусом 0,5 мм зададим размер сетки 0,05 мм. Построенная геометрическая сетка с заданными параметрами и распределение напряжений по витку резьбы показаны на рис. 1. Численное решение задачи упругости показано на рис. 2. Видно, что наибольшие растягивающие напряжения наблюдаются на впадинах резьбы болта. На рис. 4 представлен график зависимости растягивающих напряжений от номера витка, из которого видно, что больше половины нагрузки принимает первый виток. Далее нагрузка уменьшается по гиперболическому закону, что согласуется с аналитическим решением, предложенным Н.Е. Жуковским [1].

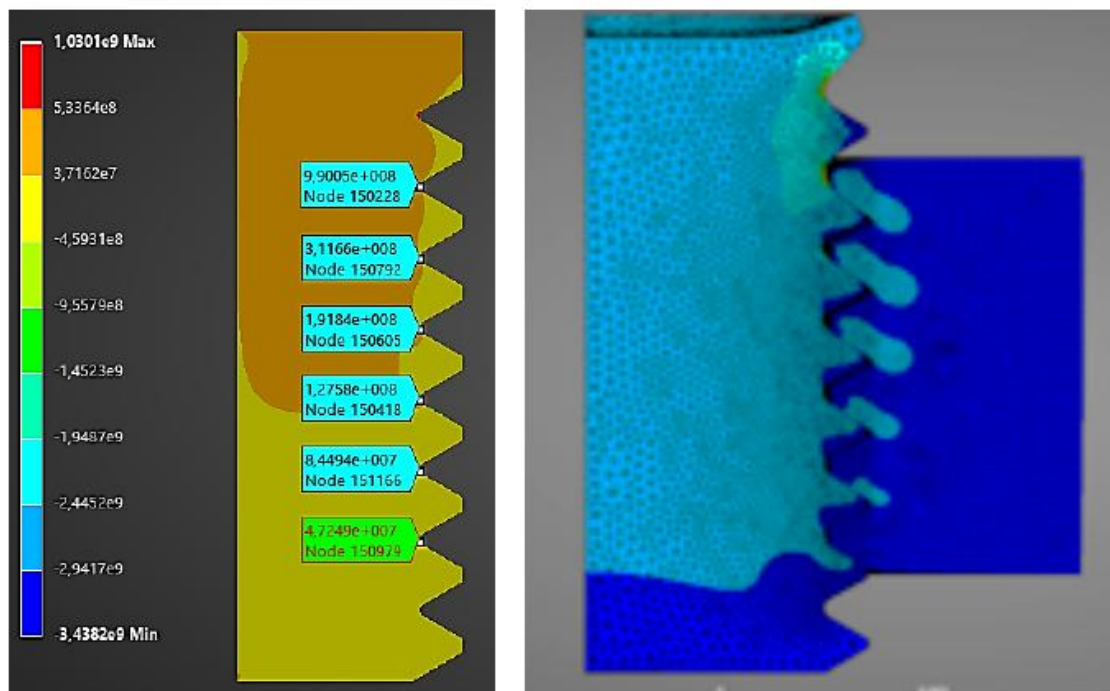


Рис. 2. Распределение напряжений по виткам резьбы

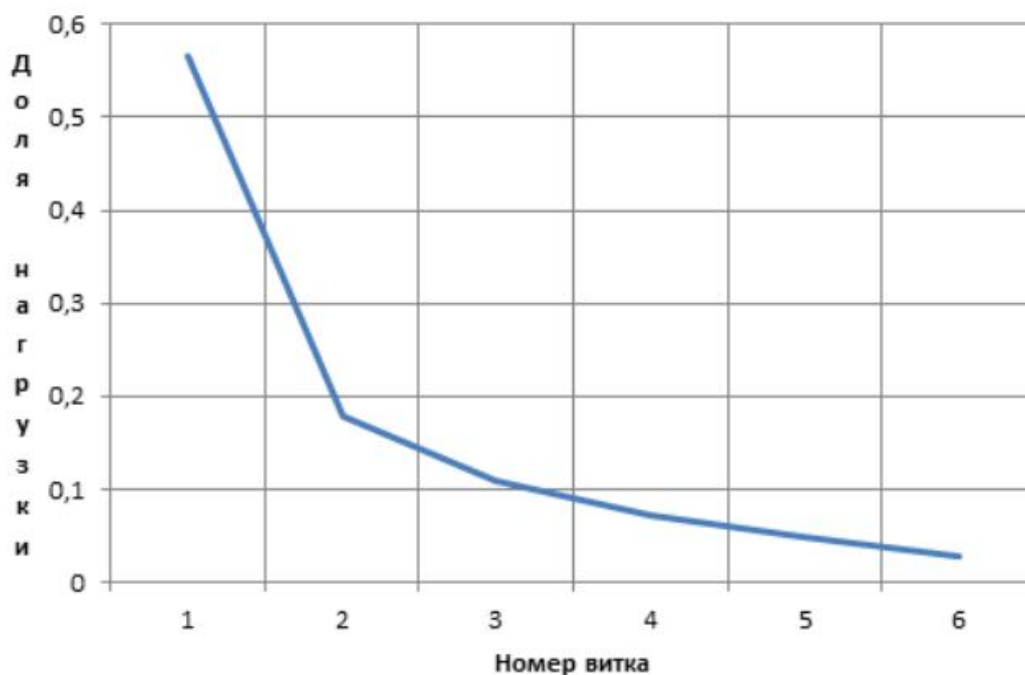


Рис. 3. График зависимости нагрузки от номера витка

Получено напряженно-деформированное состояние всех витков в модели (рис. 4.). Решая данную систему уравнений, получил убывающую геометрическую прогрессию, представляющую собой распределение нагрузки по виткам. С помощью команды *probe* были выведены максимумы напряжений на витках. Значения находятся на одной линии по оси Y с точностью $\pm 0,0004$. Из результатов видно, что напряжения вдоль рабочих поверхностей витков

распределяются неравномерно. Это происходит в связи с большой податливостью тела гайки в сравнении с податливостью тела болта, максимум давлений смещен от оси болта. Концентрации напряжений наблюдаются во впадинах витков резьбы из-за неравномерного распределения нагрузки между витками и высокой местной напряженностью. Наибольшее контурное растягивающее напряжение наблюдается во впадине под первым рабочим витком, в точке сечения удаленного от центра впадины в направлении рабочей поверхности этого витка. В связи с взаимным влиянием напряжений от изгиба витка и общего потока растягивающих напряжений максимальное напряжение витка концентрируются не в центре впадины, а в точке, смещенной к рабочей поверхности.

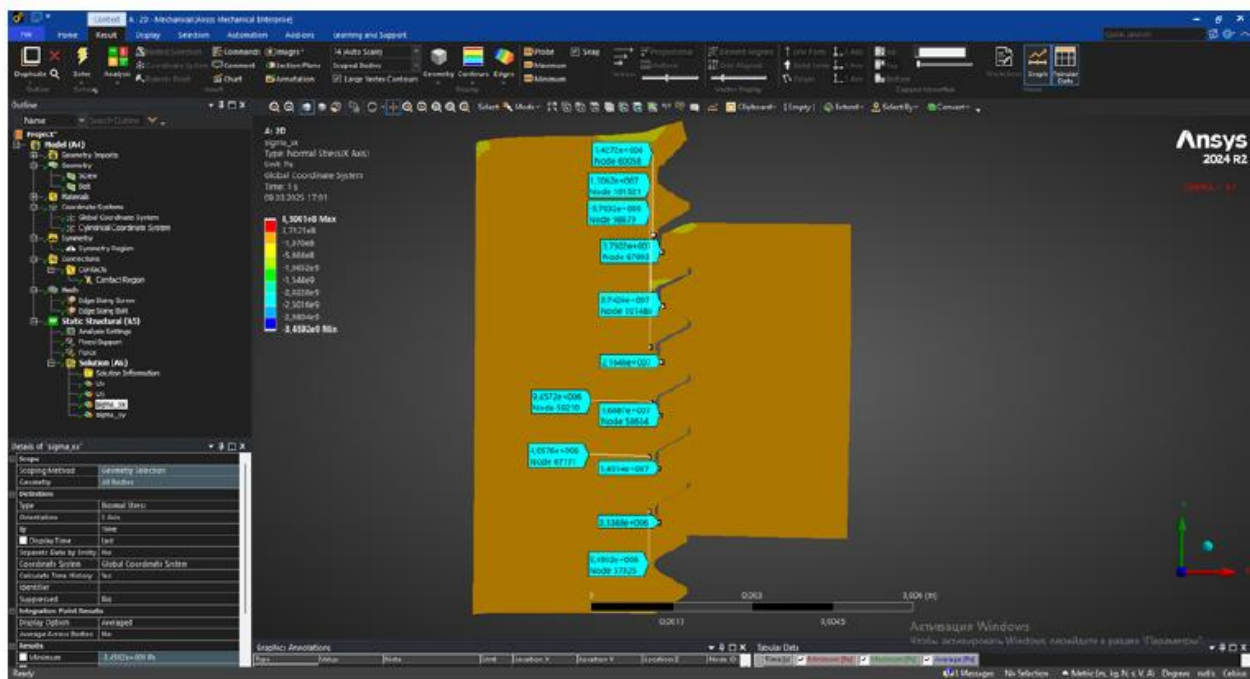


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние витков в модели

Заключение. Результаты проведенных исследований по моделированию распределения нагрузки в резьбовом соединении свидетельствуют, что полученные показатели достаточно хорошо согласуются с результатами исследований профессора Н.Е. Жуковского. Применение простейших моделей формы деталей позволяет получать замкнутые решения, облегчающие общий анализ работы резьбовых соединений. Технология расчетов резьбовых соединений в программном комплексе Ansys Workbench позволяет учитывать разнородности материалов с различными схемами нагружения, что имеет несомненные преимущества перед аналитическими методами, как по информативности, так и точности. Однако при этом не удастся полностью учесть реальной формы резьбы и условия нагружения деталей, сложного напряженного состояния и характера сопряжения частей детали. Проведенные исслед-

дования подтвердили неравномерность распределения нагрузки по виткам в затянутом резьбовом соединении и необходимость поиска путей повышения износостойкости и прочности деталей с резьбой. Одним из таких направлений является апробированная технология электромеханической обработки, которая позволяет производить механическую и термическую обработки в единой технологической схеме [4, 5]. Одновременное термомеханическое воздействие инструмента на резьбу позволяет увеличить износостойкость в 2–3 раза и на 12–15 % прочность витков в затянутом резьбовом соединении.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Жуковский Н.Е. Распределение давлений в нарезках винта и гайки. *Бюллетень Политехнического общества*, 1902, № 1, с. 1–3.
- [2] Абражевич Д.С., Калиновский Д.В., Пискун Г.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния витков резьбы в Ansys Workbench. *Машиностроение: республиканский межведомственный журнал: сб. тр.* Минск, БНТУ, 2020, вып. 32, с. 106–113.
- [3] Иванов А.С., Щеголев Н.А. Уточнение распределения нагрузки в резьбовом соединении по виткам резьбы путем учета их контактной жесткости. *Вестник машиностроения*, 2004, № 4, с. 20–23.
- [4] Федорова Л.В., Федоров С.К., Сержант А.А., Головин В.В., Систеров С.В. Электромеханическая поверхностная закалка сталей для насосно-компрессорных труб. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2017, № 3, с. 41–43.
- [5] Федорова Л.В., Федоров С.К., Славин А.В., Иванова Ю.С., Ткаченко Ю.В., Борисенко О.В. Структура и микротвердость резьбы насосно-компрессорных труб после финишной электромеханической поверхностной закалки. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2020, № 2(776), с. 58–64.