

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В АНАЛИЗЕ ПРОЧНОСТИ ГИДРОЦИЛИНДРОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Зеньков Е.В.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

Ключевые слова: гидроцилиндр, напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, гильза.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности работы гидроцилиндров высокого давления. Приведено численное моделирование процессов деформирования гильз гидроцилиндров при различной степени толстостенности. В вычислительном эксперименте рассмотрены конструкции гильз в виде монолита и в виде составных конструкций, позволяющих создавать радиальные сжимающие напряжения по контактному сечению. Результаты полученного анализа НДС гильз гидроцилиндров позволяют выбрать их рациональные конструктивные решения для обеспечения прочности без увеличения их габаритов.

APPLICATION OF NUMERICAL SIMULATION IN STRENGTH ANALYSIS OF HIGH PRESSURE HYDRAULIC CYLINDERS

Zenkov E. V.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Keywords: hydraulic cylinder, stress-strain state, computer simulation, sleeve.

Abstract. The article discusses the features of the operation of high-pressure hydraulic cylinders. Numerical modeling of the processes of deformation of hydraulic cylinder liners at various degrees of wall thickness is given. In a computational experiment, the designs of sleeves in the form of a monolith and in the form of composite structures are considered, which allow creating radial compressive stresses along the contact section. The results of the obtained analysis of the SSS of hydraulic cylinder liners make it possible to choose their rational design solutions to ensure strength without increasing their dimensions.

Современное машиностроительное производство ориентировано на коренное повышение эксплуатационных и качественных показателей изготавливаемой продукции с увеличением объемов производства и повышении производительности при обеспечении минимальных затрат труда в процессе изготовления. Для управления рабочими органами гидрофицированных машин и механизмов широкое использование получили гидравлические цилиндры [1, 2]. Тяжёлые условия эксплуатации, близость к рабочим органам, внешние силовые и атмосферные воздействия, определяют особые технические требования к комплектующим для производства гидроцилиндров [3, 4]. При этом наиболее ответственным элементом гидроцилиндра, к которому предъявляются высокие технологические требования рабочих поверхностей, является гильза.

Гидравлический цилиндр – основополагающий гидравлический компонент. Он используется как гидравлический привод, который преобразует энергию рабочей жидкости в полезную работу. Цилиндры гидравлические в основе состоят из двух элементов, корпус и шток с прикрепленным к нему поршнем. Гильза

гидроцилиндра оборудуется с одной стороны дном с другой грундбуксой. Шток выходит через отверстие, снабженное грязесъемником в грундбуксе (рис. 1).

Основным показателем совершенства гидравлических систем следует считать рабочее давление P_p , которое определяет габаритные размеры и массу элементов гидросистем и изделия в целом [1, 5]. Особенно это актуально для рабочих органов гидросистем (гидроцилиндры, насосы). В настоящее время в качестве перспективных рабочих давлений в различных областях техники являются: для дорожных машин – 27 МПа; в авиационной технике – 32...40 МПа; в ручном гидравлическом инструменте – 70...100 МПа; в технологическом оборудовании (водорезка) – 400 МПа. Такая величина рабочего давления P_p вызывает напряженно-деформированное состояние (НДС), которое соответствует или даже превышает прочность используемого материала гильзы гидроцилиндров. Целью данной работы является демонстрация возможностей повышения статической прочности гильз гидроцилиндров высокого давления на основе применения компьютерных технологий инженерного анализа, в частности, численного моделирования процессов деформирования гильзы методом конечных элементов. Далее представлен анализ НДС гильз, конструкция которых может быть представлена не только в виде монолита, но и в виде составных конструкций, позволяющие создавать радиальные сжимающие напряжения по сечению (метод автофретирования) [5].

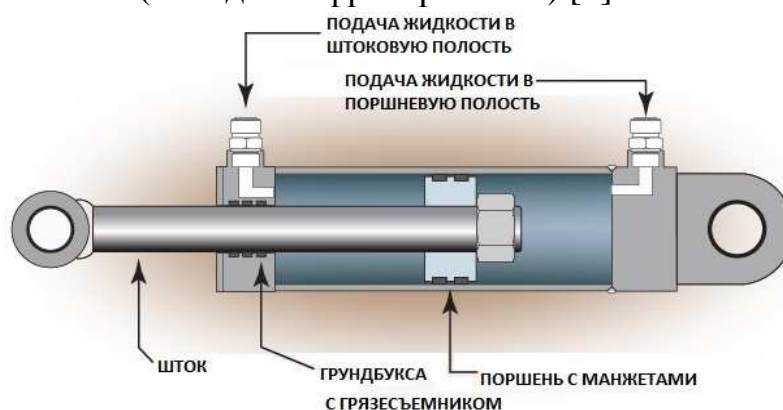


Рис. 1. Конструктивная схема гидроцилиндра высокого давления

В качестве исходного варианта был рассмотрен гидроцилиндр, корпус которого представляет собой монолитную трубу со следующими геометрическими характеристиками: внутренний диаметр 140 мм, толщина стенки 15 мм. Цель вычислительных экспериментов являлось обеспечение прочности корпуса гидроцилиндра при внутреннем давлении 70 МПа.

Анализ НДС на первом этапе осуществлён численно путем использования уравнений теории упругости, решение которых определялось с помощью метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в программном комплексе Femap with NX NASTRAN. Для создания объемной конечно-элементной модели гильзы использована КЭ-сетка с параметрами, необходимыми для достижения приемлемой инженерной точности расчёта интенсивности напряжений. Дискретизация модели гильзы осуществлялась по методике [6], обеспечивая при этом необходимую точность – относительная погрешность моделирования интенсивности напряжений не превышала 5%. При этом в расчете принимались

следующие значения физических характеристик материала: модуль упругости (E) – $2,06 \cdot 10^5$ МПа; модуль сдвига (G) – $0,79 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент поперечной деформации (μ) – 0,3; плотность (ρ) – 7850 кг/м^3 . На рисунке 2 представлен результат анализа НДС в виде распределения интенсивности напряжений по толщине стенки.

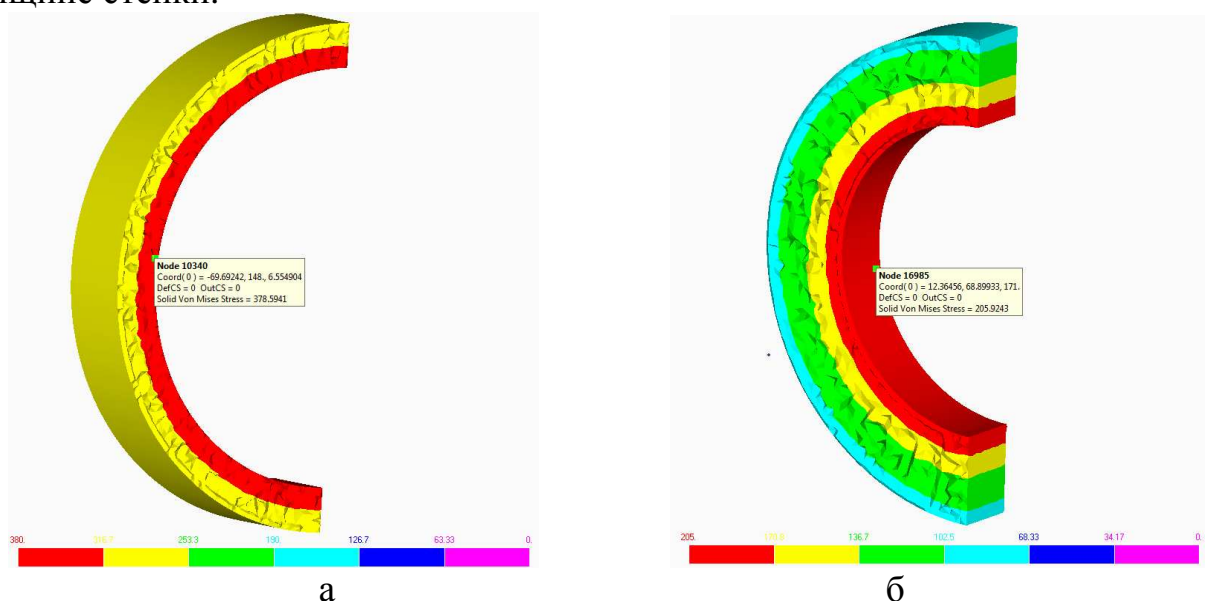


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений в гильзе по толщине стенки: а – при толщине 15 мм, б – при толщине 40 мм

В результате численного анализа полученных значений возникающих в корпусе гильзы интенсивности напряжений (от 378 МПа до 200 МПа) был сделан вывод, что при применяемой в настоящее время толщине стенки 15 мм гильза разрушится, т.к. расчетное напряжение превышает допустимое для обеспечения прочности в 1,8 раз.

В качестве решения проблемы возможны два варианта. Первый из них – это увеличение толщины стенки корпуса гидроцилиндра. При неизменном внутреннем диаметре толщина стенки должна быть увеличена до 40 мм, что позволит обеспечить прочность корпуса (рис. 2, б), однако габаритные размеры и вес увеличивается в большую сторону.

В качестве второго варианта решения проблемы была рассмотрена сборная конструкция корпуса гильзы. Предлагаемый метод повышения прочности конструкции гидроцилиндров (автофретирование) предусматривает использовать две трубы с толщиной стенок по 10 мм. Дискретная модель сборной конструкции приведена на рисунке 3. Формирование радиального натяга предлагается осуществлять комбинированным температурным методом [7].

Для повышения прочности и сохранения требований по обрабатываемости рабочих поверхностей были выбраны следующие материалы: для наружной трубы высокопрочный материал 65Г или 30ХГСА, для внутренней трубы – сталь 40Х. Полученные результаты проведения конечно-элементного анализа сборной гильзы гидроцилиндра при различных величинах радиального натяга и совместном действии внутреннего давления в 70 МПа представлены на рисунке 4.

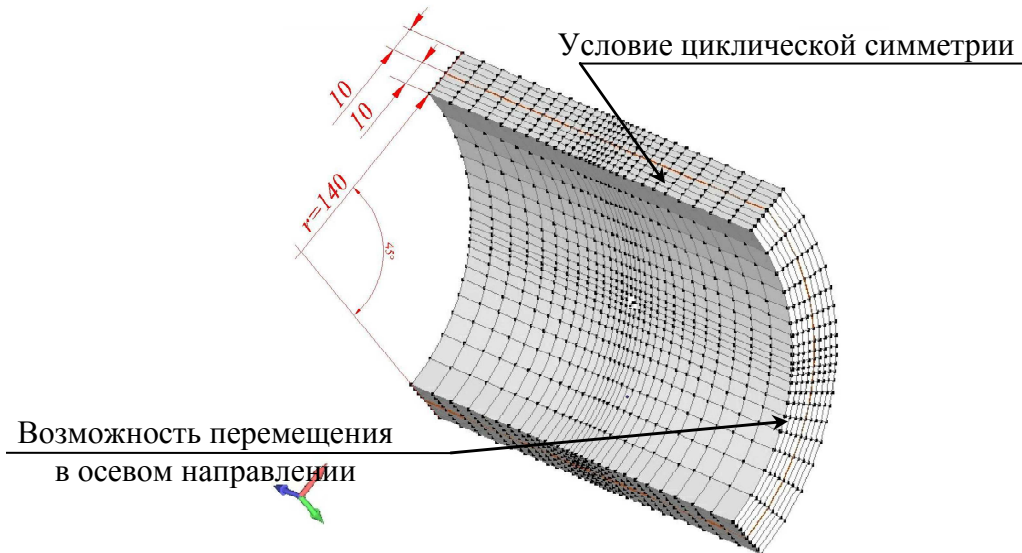


Рис. 3. Расчетная модель сборного корпуса для анализа НДС

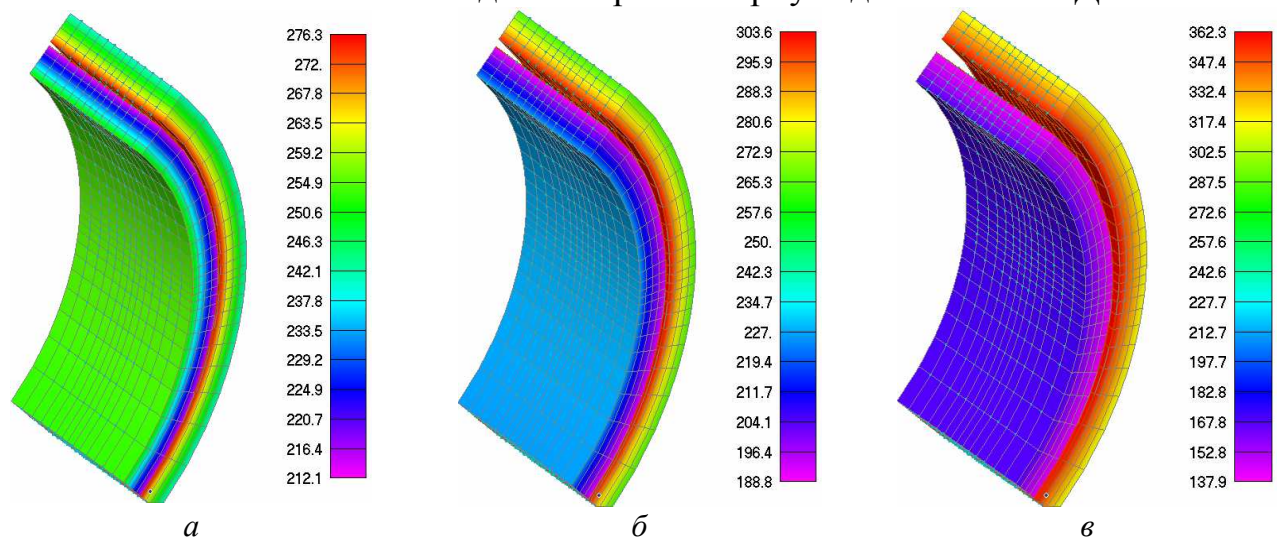


Рис. 4. Поля распределения окружных напряжений в составной гильзе под действием внутреннего давления $P = 70$ МПа при различной величине натяга: $a - 0,02$; $б - 0,04$; $в - 0,08$

Как видно из представленных результатов анализа НДС, увеличение радиального натяга в соединении выше значения 0,02 мм не целесообразно, так как повышается вероятность преждевременного разрушения гидроцилиндра при квазистатическом нагружении. Таким образом, применение предлагаемой технологии автофретирования позволит повысить прочность корпуса гидроцилиндра без увеличения его габаритов.

Список литературы

1. Марутов В.А., Павловский С.А. Гидроцилиндры. Конструкция и расчет. – М.: Машиностроение, 1966. – 172 с.
2. Радионова Л.В., Самодурова М.Н., Быков В.А. и др. Повышение эксплуатационных свойств поверхности штока гидроцилиндра аддитивными технологиями // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – №3. – С. 34-41.
3. Рябцев Д.А., Степанов М.И. Оценка тенденций развития гидроцилиндров, используемых в колесных транспортных средствах, применяемых на стартовых позициях // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – С. 44-46.

4. Сливинский Е.В., Радин С.Ю. К совершенствованию конструкции гидроцилиндров, используемых в гидрооборудовании бульдозеров // Строительные и дорожные машины. – 2021. – №8. – С. 23-26.
5. Львов Г.И., Огороков В.А. Влияние повреждаемости материала на остаточные напряжения, возникающие в процессе автофретирования Математическое моделирование в естественных науках. – 2013. – Т. 1. – С. 98-99.
6. Зеньков Е.В., Цвик Л.Б., Пыхалов А.А. Дискретное моделирование напряженно-деформированного состояния плоскоцилиндрических образцов с концентраторами напряжений в виде канавок // Вестник ИрГТУ. – 2011. – №7(54). – С. 6-12.
7. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.

Сведения об авторе:

Зеньков Евгений Вячеславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры управления качеством и инженерной графики.