

Оптимизация схемы армирования трубы при деформации растяжения с учетом критериев оптимальности

В. А. Поляков

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

vapoliakov@etu.ru

Аннотация. Рассматривается оптимизация схемы армирования трубы при деформации растяжения. В среде Siemens NX создается модель и проводится анализ напряженно-деформированного состояния, выявляются траектории укладки арматуры и создается схема армирования. Полученная схема доводится до оптимальной с применением критериев оптимальности. Основными критериями для неподвижных конструкций служат критерии заданной массы, максимального смещения и напряжения. Рассмотрены различные варианты преобразования схемы армирования. С соблюдением баланса между увеличением прочностных характеристик и уменьшением массы конструкции достигнута оптимальная схема армирования. В конечном итоге разработана схема армирования, удовлетворяющая заданным критериям оптимизации.

Ключевые слова: деформация растяжения, Siemens NX, критерии оптимальности конструкции, критерий заданной массы, критерии деформации, оптимальная схема армирования

Для цитирования: Поляков В. А. Оптимизация схемы армирования трубы при деформации растяжения с учетом критериев оптимальности // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 7. С. 56–60. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-7-56-60.

Original article

Optimizing a Pipe Reinforcement Scheme Under Tensile Deformation, Considering the Optimality Criteria

V. A. Polyakov

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

vapoliakov@etu.ru

Abstract. The article discusses the optimization of a pipe reinforcement scheme under tensile deformation. In the Siemens NX environment, a model is created and an analysis of the stress-strain state is carried out, trajectories of reinforcement laying are identified, and a reinforcement scheme is created. The resulting scheme is brought to the optimal by applying the optimality criteria. The main criteria for fixed structures include the given mass criterion and the maximum displacement and stress criteria. Various options for transforming the reinforcement scheme are considered. By maintaining a balance between an increase in strength characteristics and a decrease in the mass of the structure, an optimal reinforcement scheme has been achieved. Ultimately, a reinforcement scheme has been developed that satisfies the specified optimization criteria.

Keywords: tensile deformation, Siemens NX, design optimality criteria, specified mass criterion, deformation criteria, optimal reinforcement scheme

For citation: Polyakov V. A. Optimization of the Pipe Reinforcement Scheme Under Tensile Deformation, Considering the Optimality Criteria // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 7. P. 56–60. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-7-56-60.

Введение. В современном мире промышленно освоены технологии проектирования и изготовления слоистых конструкций с учетом анизотропных свойств материала. Они нашли свое применение при изготовлении элементов различных отраслей техники: самолетостроение, космическая техника, судостроение, строительство, химическая промышленность, машиностроение [1]. В таких конструкциях связь армированных слоев осуществляется связующим материалом, который имеет физико-механические характеристики ниже таковых для армирующего материала. Подобные конструкции могут расслаиваться при больших касательных напряжениях.

Прочность детали зависит от ее геометрической формы и свойств используемого материала. Под действием нагрузок деформируется и перемещается материал конструкции. Схема армирования разрабатывается, исходя из определения направлений смещения материала и траекторий распространения напряжений. Основными параметрами, определяющими прочность армированной конструкции, служат ее геометрическая форма, компонентный состав и схема армирования. Способ укладки армирующего материала позволяет управлять направлением армирования.

Критерии оптимальности определяются исходя из требований к конструкции и ее эксплуатации. К примеру, для подвижной конструкции критерием может быть уменьшение массы, для неподвижных – уменьшение смещения материала [2].

Постановка задачи. На сегодняшний день известно несколько способов армирования – в зависимости от направления укладки армирующего материала, а также в зависимости от способа укладки – стержневое или слоистое армирование [3]. Следует помнить, что деформация – это величина относительная, скалярная, а смещение – размерная и имеет направление. Траектории смещения точек могут не совпадать с траекториями распространения напряжений. Деформация может иметь различные значения в разных сегментах детали. Таким образом при проектировании оптимальной схемы армирования необходимо учитывать, что в некоторых сегментах детали для армирования может понадобиться большее или меньшее количество армирующего материала.

Для разработки оптимальной схемы армирования необходимо к разработанной схеме применить критерии оптимальности. В качестве исследуемой детали выбирается цилиндрическая труба, работающая на растяжение (характер деформации при сжатии – аналогичный). Сборка из связующего (трубы) и арматуры, расположенной

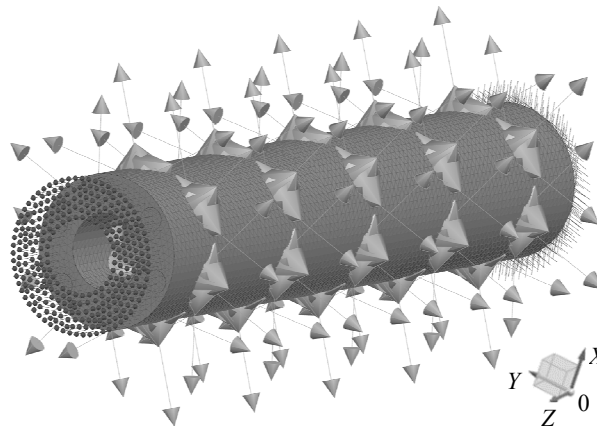


Рис. 1. Модель симуляции

Fig. 1. Simulation model

вдоль детали (в данном случае по направлению оси Z), показана на рис. 1.

Выполнив моделирование нагрузок, программа выдает следующие результаты смещения напряжения сборки. Сравним полученные результаты с изначальной деталью (рис. 2, 3) и обозначим критерии оптимальной схемы армирования.

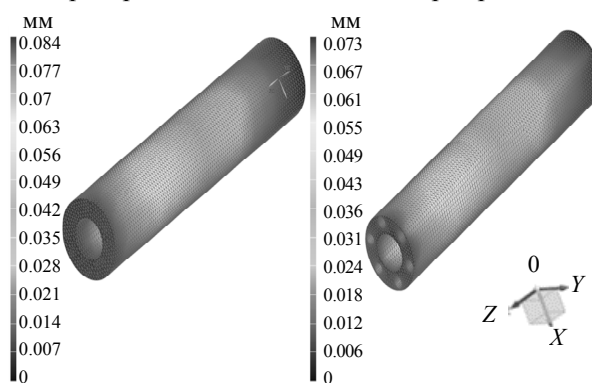


Рис. 2. Смещение связующего:

а – без арматуры; б – с арматурой

Fig. 2. Displacement of binder:

а – without fittings; б – with fittings

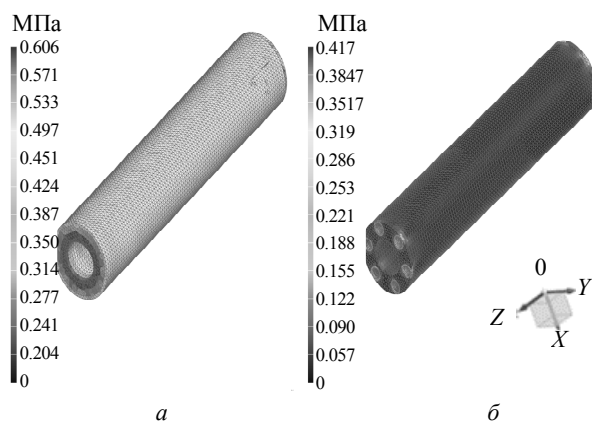


Рис. 3. Напряжение связующего:

а – без арматуры; б – с арматурой

Fig. 3. Tension of the binder:

а – without fittings; б – with fittings

Из рис. 2, 3 видно, что используемая схема армирования уменьшила деформацию изначальной детали. Максимальное смещение уменьшилось с 0.084 до 0.073 мм, максимальное напряжение с 0.606 до 0.417 МПа. Для максимального удовлетворения поставленной задачи вводятся так называемые критерии оптимальности, которые в свою очередь опираются на показатели конструкции.

Зачастую сложно выбрать один критерий, который бы обеспечил всю полноту требований. Количество параметров, характеризующих оптимизируемый объект (задачу), также может быть различным, причем параметры могут меняться непрерывно или дискретно. Применение для технических задач только одного критерия (например, максимум уровня безопасности, минимум потребления энергии, минимум экологического ущерба) часто приводит к абсурдным результатам, выходящим за область допустимых решений, или сильно усложняет решение поставленной задачи [4].

Задачи с одним критерием называются скалярными, а многокритериальные – векторной оптимизацией. Рассмотрим некоторые критерии касательно оптимизации схемы армирования.

Критерий оптимальной массы конструкции. В качестве критерия оптимальной схемы примем максимальную массу. Предположим, что масса армированной конструкции должна быть не более 0.5 кг. В разрабатываемой среде (Siemens NX) определим вес конструкции для трех случаев.

Конструкция с шестью стержнями показала, что внедрение арматуры позволило снизить смещение и напряжение материала. Однако конструкция имеет вес 0.387 кг, следовательно, критерий не достигнут и нужно изменить число стержней. В разрабатываемой среде определим вес одного стержня – 21.6 г. Вес детали будет уменьшаться при увеличении количества внедряемых стержней. Так при 12 стержнях вес детали будет равен 235 г, а при 18 – 212 г соответственно. С учетом критерия массы (не более 0.5 кг) конструкция с 12 стержнями – оптимальна. Однако сложно судить о том, как изменяется смещение и напряжение материала при внедрении 12 или 18 стержней. Возникает вопрос: насколько критерий оптимальной массы важен в данной задаче? Одного критерия массы недостаточно, а значит, для оптимальной схемы армирования необходимо рассмотреть еще один критерий оптимизации.

Критерий оптимального (максимального) напряжения. Один из способов уменьшения напряжения материала заключается во внедрении большего количества арматуры. В первоначальной сборке использовалось 6 стержней. Поскольку деталь симметричная, то рационально использовать четное количество стержней, так арматура тогда равномерно примет на себя нагрузку. Предположим, устанавливается критерий «максимальное напряжение в трубе, в том числе в местах склеивания стержней и связующего, не должно превышать 0.15 МПа».

Условия эксперимента остаются неизменными (один торец жестко закреплен, ко второму торцу прикладывается сила), меняется только количество стержней – в первом случае их будет 18, а во втором – 12. Напряжения для связующего представлены на рис. 4.

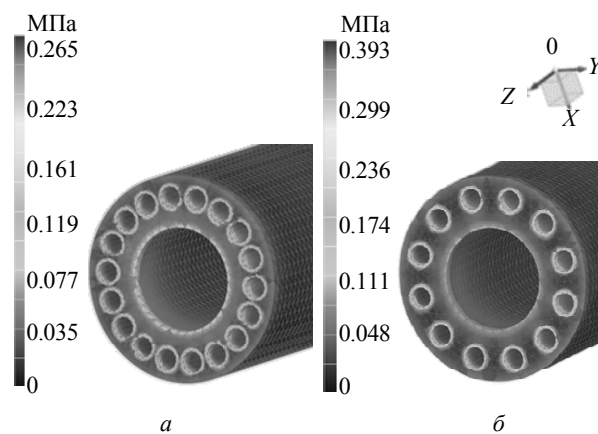


Рис. 4. Напряжение связующего:
а – при 18 стержнях; б – при 12 стержнях
Fig. 4. Tension of the binder:
a – at 18 rods; б – at 12 rods

Наибольшее напряжение испытывают ребра стержней на краю конструкции. Из рис. 4 можно сделать вывод что, чем больше стальных стержней используется, тем меньше значения напряжения в связующем. Напряжение в местах склеивания стержней и связующего в конструкции с 12 стержнями равно 0.23 МПа, в то время как в конструкции с 18 стержнями – 0.14 МПа. С учетом критерия максимального напряжения (не более 0.15 МПа) оптимальна конструкция с 18 стержнями.

Аналогично критерию напряжения имеется критерий смещения, выбор зависит от условий эксплуатации конструкции.

Критерий оптимального (максимального) смещения. Один из способов уменьшения сме-

щения материала состоит во внедрении арматуры, расположенной вдоль векторов смещения. Предположим, условие задачи звучит следующим образом: максимальное смещение материала трубы не должно превышать 0.6 мкм.

Сохраним условия эксперимента: количество внедряемых стержней будет 12 и 18. Сравним полученные результаты смещения для связующего, картины представлены на рис. 5.

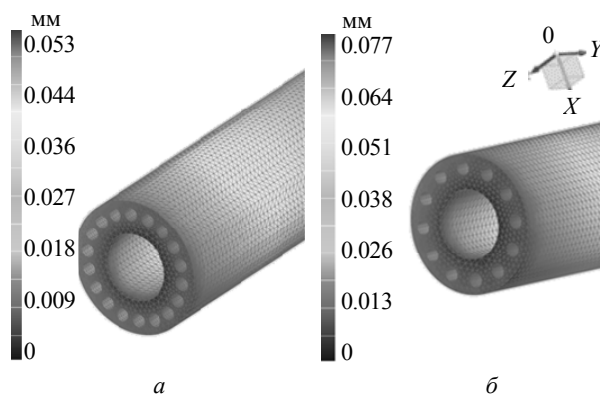


Рис. 5. Смещение связующего:
а – при 18 стержнях; б – при 12 стержнях
Fig. 5. Displacement of binder:
а – at 18 rods; б – at 12 rods

Из рис. 5 видно, что смещения материала связующего уменьшились при увеличении количества стержней. Наибольшее смещение материала происходит в месте приложения нагрузки. Сравнивая полученные результаты, можно заметить, что чем больше стальных стержней используется, тем меньше происходит смещение материала связующего. Наибольшее возникающее смещение с 12 стержнями равно 0.77 мкм, в то время как в

конструкции с 18 – 0.53 мкм. С учетом заданного критерия «максимальное смещение – не более 0.6 мкм», оптимальна конструкция с 18 стержнями.

Увеличение количества стержней помогло снизить смещение материала по направлению приложенной силы. Ситуация аналогична таковой при рассмотрении критерия максимального напряжения. Следовательно, эти два критерия можно объединить. В обеих ситуациях можно использовать большее количество стержней, однако это может привести к увеличению итоговой массы конструкции.

Выводы. Оптимальное проектирование схемы армирования сопровождается анализом деформации детали с учетом ее совместной работы с армирующим материалом. Часто в качестве критерия оптимальности принимают критерий максимальной (минимальной) массы конструкции, это особенно важно при изготовлении конструкции из дефицитных материалов.

В данной статье в роли критериев оптимальной схемы были рассмотрены критерии максимального смещения и деформации, а также критерий заданной массы. Объединив все три эти критерия оптимальности, можно сказать, что оптимальная схема армирования будет состоять из 12 стержней, однако схема с 18 стержнями обладает лучшими прочностными характеристиками. Следует помнить, что для оптимального армирования необходимо соблюдать баланс между уменьшением напряжения и смещения связующего и увеличением массы конструкции.

Список литературы

1. Особенности постановки и решения задач оптимизации структуры и состава пространственно армированных углерод-углеродных и углеродкерамических композитных конструкций ракетной техники / А. А. Смердов, С. В. Тащилов, К. А. Пономарев, А. Н. Миронихин // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2012. № 8. С. 137–147.
2. Mistree F., Hughes O. F., Phuoc H. B. An optimization method for the design of large, highly constrained

complex systems // Engineering Optimization. Vol. 5, no. 3. P. 179–197. doi: 10.1080/03052158108902443.

3. Нотон Б. Применение композитных материалов в технике // Композиционные материалы: в 8 т. / ред. Л. Браутман, Р. Крок. М.: Машиностроение, 1978. Т. 3. С. 260–307.

4. Черноуцкий И. Г. Методы оптимизации в теории управления. СПб.: Питер, 2004. 256 с.

Информация об авторе

Поляков Владимир Александрович – аспирант, ассистент кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
E-mail: vapoliaikov@etu.ru

References

1. Osobennosti postanovki i reshenija zadach optimizacii struktury i sostava prostranstvenno armirovannyh uglerod-uglerodnyh i uglekeramicheskikh kompozitnyh konstrukcij raketnoj tehniki / A. A. Smerdov, S. V. Tashhilov, K. A. Ponomarev, A. N. Mironihin // Vestn. MGТУ im. N. Je. Baumana. 2012. № 8. S. 137–147. (In Russ.).
2. Mistree F., Hughes O. F., Phuoc H. B. An optimization method for the design of large, highly constrained complex systems // Engineering Optimization. Vol. 5, no. 3. P. 179–197. doi: 10.1080/03052158108902443.
3. Noton B. Primenenie kompozitnyh materialov v tehnike // Kompozicionnye materialy: v 8 t. / red. L. Brautman, R. Krok. M.: Mashinostroenie, 1978. T. 3. S. 260–307. (In Russ.).
4. Chernoruckij I. G. Metody optimizacii v teorii upravlenija. SPb.: Piter, 2004. 256 s. (In Russ.).

Information about the author

Vladimir A. Polyakov – postgraduate student, assistant of the Department of Robotics and Automation of Production Systems, Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: vapoliakov@etu.ru

Статья поступила в редакцию 27.04.2023; принята к публикации после рецензирования 01.06.2023; опубликована онлайн 25.09.2023.

Submitted 27.04.2023; accepted 01.06.2023; published online 25.09.2023.
