

КОНСТРУКЦИОННАЯ БИОНИКА В ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Огородников А.И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Ключевые слова: CAD/CAE/CAO/CAM, аддитивные технологии, оптимальное проектирование, бионика, топологическая оптимизация.

Аннотация. Рассмотрены современные тенденции развития интегрированной среды проектирования в машиностроении с применением численных методов оптимизации. Аддитивные технологии расширяют возможности реализации оптимизированной геометрии, снимая ряд ограничений по формообразованию. Практика применения топологической оптимизации деталей для дальнейшего изготовления способами послойной печати показывает тесную связь оптимального проектирования с конструкционной бионикой.

STRUCTURAL BIONICS IN OPTIMAL DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING

Ogorodnikov A.I.

Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin,

Ekaterinburg

Keywords: CAD/CAE/CAO/CAM, additive manufacturing, optimal design, bio-inspired design, topology optimization.

Abstract. The paper discusses the latest trends in the development of integrated software for design in mechanical engineering, in which numerical optimization methods play a major role. Additive technologies expand the possibilities for implementing optimized geometry, removing a number of limitations on shaping. The practice of using topology optimization of parts for further manufacturing by layer-by-layer printing methods shows a close connection between optimal design and structural bionics.

Благодаря аддитивным технологиям открываются новые возможности в проектировании современных мехатронных изделий, которые на текущий момент не отражены в стандартах ЕСКД [1]. Из нестандартных подходов к изготовлению мехатронных модулей следует отметить совместную печать корпусных деталей и проводников [2]. Большой интерес представляет также проектирование и печать равнопрочных деталей с непримитивной геометрией, изготовление которых средствами механической обработки не представляется возможным [3]. Применение топологической оптимизации к таким деталям в условиях проектного силового нагружения [4] часто приводит к получению биоподобных структур, например, древовидных.

В последнее десятилетие насыщение систем автоматизированного проектирования модулями структурной, параметрической и топологической оптимизации становится настолько интенсивным, что можно говорить о расширении классической триады CAD/CAE/CAM до интегрированной среды Computer-Aided Design /Engineering /Optimization /Manufacturing. В такой среде топологическая оптимизация конструкции на конечно-элементной сетке

становится важной частью оптимального проектирования и подтверждает обоснованность многих интуитивных решений конструкционной бионики. Соответственно, наблюдение за природными объектами позволяет перенести конструктивно-технологические принципы формообразования живых существ в оптимальное проектирование несущих конструкций.

В бионическом анализе живых систем можно прежде всего заметить иерархичность функциональной структуры биологических объектов, в которой выполняемая функция обеспечивается на нескольких размерных уровнях. Такую размерную иерархию структуры можно представить в математической модели фракталами. Дерево служит одним из наиболее ярких примеров фрактальной пространственной структуры, которая обеспечивает одновременно прочность, податливость и устойчивость несущей конструкции при воздействии гравитационной, ветровой или снеговой нагрузки. Поэтому остается актуальным бионический анализ структуры дерева с учетом технологической возможности изготовления биоподобных структур способами аддитивного производства. Аддитивные технологии позволяют выращивать биоподобные детали послойно с внутренними полостями и армирующими включениями, реализуя оптимальное распределение материала по объему.

Макроразмерная геометрия древовидной структуры представляет собой линейную конструкцию в трехмерном пространстве, она в целом обладает осевой симметрией и состоит из ствола, корней, ветвей и листьев. Система осевых линий всех элементов древовидной структуры формируется по принципу самоподобия в соответствии с фрактальной зависимостью. В пространстве макроразмерная геометрия ограничена непрерывной упругой оболочкой из коры и кожицы. Благодаря фрактальному ветвлению общий объем, занимаемый растущей древовидной структурой, также ограничен и характеризуется морфоструктурным показателем – радиусом роста.

В свою очередь, основные элементы дерева имеют сложную внутреннюю структуру меньшей размерности. В частности, ствол является несущей основой и образуется каркасом из прочных осевых волокон, которые чередуются с мягкими тканями, выполняющими физиологические функции. Осевые волокна проклеены и пронизаны поперечно растущими клетками, что соединяет их в общий массив. Наблюдение за формой стволов показывает разнообразие природных геометрических решений и способность живого дерева добавлять материал в тех зонах, где возникает угроза разрушения из-за постоянно воздействующих сильных ветров. Все обсуждаемые особенности выращивания и адаптации древовидной структуры в живой природе можно осуществить в технике сочетанием различных способов оптимального проектирования и аддитивного формообразования.

Одним из наиболее эффективных способов получить биоподобные структуры при проектировании является топологическая оптимизация, которая выполняется на конечно-элементной сетке в итерациях компьютерного анализа напряженно-деформированных состояний. Оптимизатор удаляет из исходного массива все элементы, которые не участвуют в обеспечении прочности. На рисунке 1 показана несущая деталь, полученная с применением топологической

оптимизации при проектировании и аддитивной технологии при изготовлении. Геометрия выращенной детали имеет ярко выраженные очертания вилочковой кости, которая в скелете птиц выполняет роль пружины, амортизирующей резкие динамические толчки при взмахе крыльев.

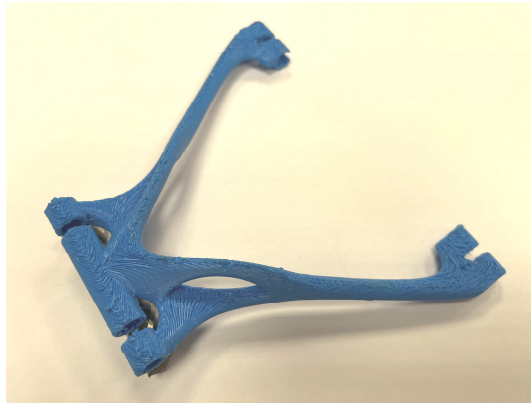


Рис. 1. Оптимизированная бионическая деталь

В заключение следует подчеркнуть, что эффективность производственной подготовки и изготовления оптимизированных биоподобных деталей можно существенно повысить за счет использования в аддитивном производстве гибких производственных ячеек [5] и программируемых манипуляторов [6].

Список литературы

1. Огородникова О.М., Ваганов К.А., Юшков И.В. Адаптация стандартов ЕСКД для проектирования промышленных роботов в интегрированной программной среде // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2015. – № 2. – С. 49-55.
2. Pronichev I.M., Ogorodnikova O.M. Interdisciplinary design of mechatronic systems based on the integration of separate software // AIP Conference Proceedings. 2022, vol. 2466, p. 070009.
3. Огородников А.И., Власов В.Н., Огородникова О.М. Компьютерная оценка ожидаемого качества в системе управления технологическими процессами механической обработки // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2015. – № 1. – С. 123-127.
4. Stupin S.A., Ogorodnikova O.M. Topology optimization in designing of anthropomorphic gripper for a robot // AIP Conference Proceedings. 2020, vol. 2313, p. 040011.
5. Берсенева К.А., Огородникова О.М. Гибкая производственная ячейка для роботизированного аддитивного производства // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2024. – № 13. – С. 124-127.
6. Огородников И.И., Огородникова О.М. Перепрограммирование промышленных роботов в составе гибкой производственной системы // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – №2(186). – С. 36-40.

Сведения об авторе:

Огородников Алексей Игоревич – к.т.н., доцент кафедры электронного машиностроения.