

Об Особенности Конечно-Элементного Моделирования Ультразвуковых Колебательных Систем и Их Составных Узлов

В.Н. Хмелев, С.С. Хмелев, Г.А. Боброва, К.А. Карзакова
Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия

Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

Аннотация – Статья посвящена изучению необходимости использования компьютерного моделирования ультразвуковых колебательных систем, посредством использования метода конечных элементов. А именно влияние заданных параметров конечных элементов на расчетные резонансные параметры.

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковая колебательная система, моделирование, метод конечных элементов.

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие современного общества вызывает необходимость сокращения сроков освоения новых технологий и новых изделий в условиях производства. Физическое моделирование технологических объектов в условиях производства требует значительных материальных и финансовых затрат. Современный уровень развития компьютерных технологий позволяет реализовать компьютерное моделирование объектов для оптимизации их параметров и характеристик, ускорить процесс конструирования, избежать возможных ошибок на стадии проектирования и снизить финансовые затраты на производство [1].

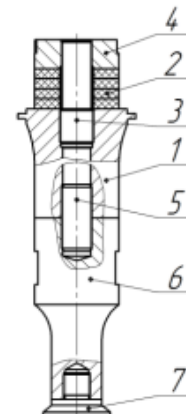
В настоящее время в промышленности стали широко применяться технологии, основанные на использовании ультразвуковых колебаний, создаваемых ультразвуковыми колебательными системами. Ультразвуковые колебательные системы, входящие в состав ультразвуковых технологических аппаратов, являются сложными технологическими объектами, состоящими из различных элементов [2].

Схематично ультразвуковая колебательная система (далее УЗКС), объединяющая в себе

пьезоэлектрический преобразователь, волновод – концентратор и сменный рабочий инструмент показана на рис. 1 [3].

Аналитические расчеты таких систем невозможны из-за неоднородности свойств реальных материалов, большого числа сопрягаемых элементов, наличия переходов, ключевых лысок, резьбовых соединений и т.п.

Поэтому широкое распространение при конструировании ультразвуковых колебательных систем получил метод конечно-элементного моделирования (МКЭ). Метод конечных элементов основан на идее аппроксимации непрерывной функции дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых конечными элементами. [4]



1 – излучающая накладка, 2 – пьезоэлектрический элемент, 3 – шпилька преобразователя, 4 – отражающая накладка, 5 – соединительная шпилька, 6 – концентратор, 7 – рабочий инструмент.

Рис. 1 – Ультразвуковая колебательная система.

Для реализации метода конечных элементов используются программные комплексы (САЕ-системы). Современные САЕ-системы имеют удобный пользовательский интерфейс, обладают наличием итерационных решателей, обеспечивают создание трехмерных объектов исследования, импорт готовых моделей из другой среды проектирования, большой выбор типов конечных элементов, а также возможность выбора материала модели.

Часто для построения твердотельных моделей используют комплексы трехмерного проектирования, которые позволяют экспортировать созданные трехмерные модели в системы конечно-элементного моделирования. Для передачи твердотельной модели в систему конечно-элементного моделирования необходимо сохранить ее в требуемый формат. Большое количество систем МКЭ использует графическое ядро Parasolid. Для этого файл твердотельной модели сохраняется с расширением *.x_t*, после чего он готов для экспортирования в используемую среду конечно-элементного моделирования.

Моделирование УЗКС и ее составных узлов часто сводится к нахождению их резонансных частот и распределения колебаний вдоль акустической оси или по поверхности излучения.

В статье проанализированы возможности метода конечных элементов МКЭ при моделировании узлов УЗКС для выявления особенностей, влияющих на точность получаемых значений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для решений поставленной задачи использовался модальный тип анализа. Изначально необходимо задать характеристики материалов (скорость звука в материале, коэффициент Пуассона) исследуемого объекта, поскольку эти свойства материала определяют резонансные параметры колебательной системы. При расчете резонансных параметров задается частотный диапазон для исследования и указывается количество мод колебаний для поиска.

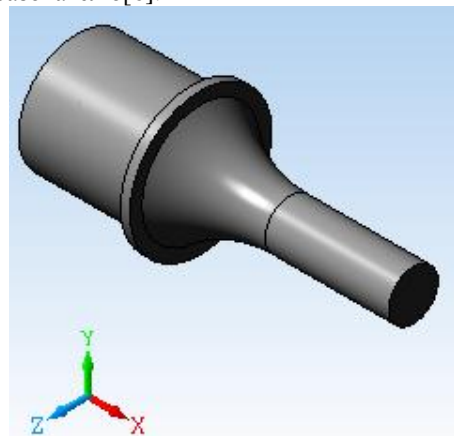
Основным этапом моделирования является задание сетки конечных элементов. Именно размер и форма конечного элемента определяют точность расчета. При генерации сетки САЕ-система создает её автоматически, подгоняя под конструкцию объекта. Далее осуществляется расчет.

В качестве примера рассмотрим расчет ультразвукового концентратора, разбитого на конечные элементы автоматическим способом. Материал концентратора – титановый сплав ВТ1-0, размер конечного элемента – 0,0046 м. Выполненный расчет дает для такой модели резонансную частоту, равную 19842 Гц. Рассчитываемая твердотельная конструкция и

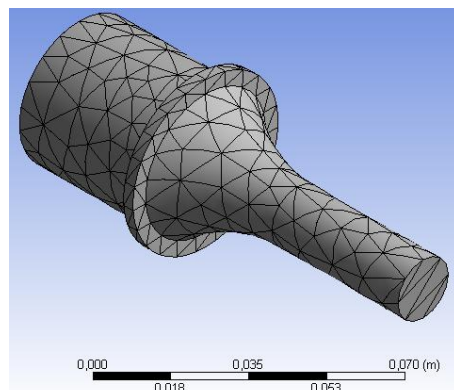
модель, разбитая на конечные элементы показаны на рис 2б.

Оценка точности расчета резонансной частоты методом МКЭ производится путем сравнения полученных расчетных значений с резонансной частотой изготовленных узлов УЗКС, имеющих размеры и физические параметры, соответствующие моделируемой твердотельной модели. Кроме того, для сравнения использовались результаты аналитических расчетов различных узлов по уточненным и проверенным методикам проектирования [5].

Измерения собственной резонансной частоты узлов УЗКС проводились с помощью пьезоэлектрического приемного преобразователя с сухим точечным контактом при присоединении концентратора к пьезоэлектрическому преобразователю [6].



а)



б)

Рис. 2 – а) твердотельная модель, б) модель с сеткой конечных элементов, созданная автоматически

Измеренная частота изготовленного концентратора из титанового сплава – 20010 Гц. Как видно из результатов, создание сетки автоматически приводит к существенной неточности расчетов.

В связи с этим, для анализа моделей, испытывающих объемное напряженное состояние, было предложено использовать тетраэдральный тип конечного элемента. Поэтому дальнейшие

сравнения произведены для ультразвукового концентратора со следующими входными параметрами: материал концентратора – титановый сплав ВТ1-0, размер конечного элемента – 0,0046 м, тип конечного элемента – тетраэдральный.

Выполненный расчет дает для таких входных параметров резонансную частоту, равную 19892 Гц, что является более лучшим результатом, по сравнению с автоматической сеткой.

Дальнейшие исследования направлены на выявление влияния размера конечного элемента на точность расчетов для различных типов узлов УЗКС. В качестве первого типа модели было рассчитано концентрирующее звено, входящее в состав ультразвуковых аппаратов для кавитационной обработки жидкости и ультразвуковой сварочный инструмент, представляющий собой двухмерный волновод.

Проведенные расчеты представленных моделей со следующими входными параметрами: материал – титановый сплав ВТ1-0, тип конечного элемента – тетраэдральный, позволили установить зависимость (представлена на рис.3) расчетной резонансной частоты от размера конечного элемента для разных типов узлов УЗКС.

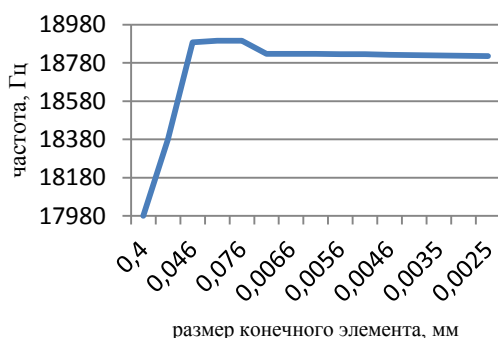


Рис.3 – Зависимость расчетной резонансной частоты от размера конечного элемента

Сравнения производились с изготовленным сварочным инструментом, резонансная частота которого составила 18810 Гц.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что более мелкая сетка обеспечивает повышение точности результатов. Однако, разбиение на мелкую сетку при больших размерах исследуемой детали может приводить к значительному увеличению времени расчета.

Так как узлы УЗКС имеют сложный вид, то нагрузка по модели распределяется неравномерно, поэтому целесообразно использовать мелкую сетку там, где ожидается большой градиент деформаций или напряжений [7] (например, область радиального перехода и цилиндрический участок меньшего диаметра на ультразвуковых концентраторах). В то же время крупная сетка может применяться в зонах с малоизменяющимися относительными

деформациями или напряжениями, а также в областях, не представляющих особого интереса для расчетчика (не оказывающих существенного влияния на параметры УЗКС). В связи с этим перед созданием конечно-элементной сетки необходимо выделить предполагаемые области концентрации напряжений. На рис.4 показано, что расчет различных областей объекта можно осуществлять с применением сеток с различными размерами конечных элементов.

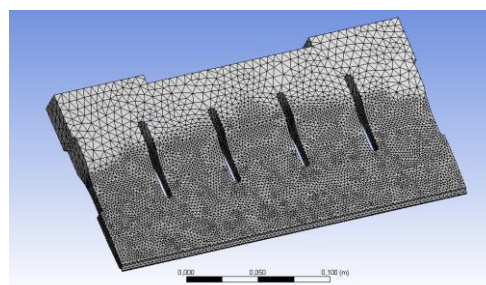


Рис. 4 – Узел УЗКС с неоднородной сеткой конечных элементов

Соответственно, необходимо проверить правильность данного утверждения, проведя моделирование узлов УЗКС с неоднородной сеткой.

Проведенные расчеты представленной модели со следующими входными параметрами: материал – титановый сплав ВТ1-0, тип конечного элемента – тетраэдральный, размер конечного элемента крупной и мелкой сетки – 0,007 и 0,002 м, соответственно, позволили получить расчетное значение резонансной частоты, равное 18860 Гц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы были проанализированы возможности особенности применения конечно-элементного моделирования для повышения точности расчетов узлов УЗКС и показана целесообразность реализации следующих приемов:

- использовать тетраэдральный тип конечного элемента;
- использовать размер конечного элемента не более чем 0,007 м;
- при больших размерах моделируемой детали целесообразно использовать неоднородную сетку конечных элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В. Ланин, Д. Бухалко – Моделирование ультразвуковых технологических систем методом конечных элементов.
2. Lawrence K.L. – Ansys Workbench Tutorial Arlington: University of Texas, 2005
3. В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, А.Н. Лебедев – Автоматизированное проектирование ультразвуковых колебательных систем

4. О. Зенкевич – Метод конечных элементов в технике – М.: Мир, 1975-318с

5. В.Н.Хмелев, С.С.Хмелев, К.А.Карзакова, Г.А. Боброва Проектирование пьезоэлектрических колебательных систем [Текст] / В.Н. Хмелев, С.С. Хмелев, К.А. Карзакова, Г.А. Боброва // Ползуновский вестник. – 2013. – №2. – С. 119–123.].

6. В.Н.Хмелев, С.С.Хмелев, С.В. Левин, С.Н.Цыганок Источники ультразвукового воздействия. Особенности построения и конструкции. Монография. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 196 с.

7. А. О. Шимановский, А.В. Пулято – Применение МКЭ в решение задач, 2008г.

Хмелев Сергей Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432470, e-mail: ssh@bti.secna.ru.

Боброва Галина Алексеевна – студент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ. Тел. (3854)432470.

Карзакова Ксения Александровна – студент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432470.