



Козинский Вячеслав Сергеевич

аспирант

Огурцов Михаил Сергеевич

аспирант

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный

технический университет»

г. Воронеж, Воронежская область

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ТОНКОСТЕННЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПКМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация: в данной статье рассматривается вопрос об актуальности применения в машиностроении трехслойных панелей из полимерных композиционных материалов. В работе также описываются области применения метода конечных элементов и возможности его применения при разработке управляющих программ для тонкостенных деталей.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, метод конечных элементов, механическая обработка.

Анализ конструкций с использованием метода конечных элементов (МКЭ) является в настоящее время фактически мировым стандартом для прочностных и других видов расчетов конструкций. Основой этого служит универсальность МКЭ, позволяющая единым способом рассчитывать конструкции с разными свойствами материалов.

Основная идея метода конечных элементов состоит в том, что любую непрерывную величину, такую как температура, давление и перемещение, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Кусочно непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области.

Потребность конструкторских бюро, научно-исследовательских организаций и промышленности в универсальных, быстрых, надежных и удобных для пользователя программах, реализующих широкий спектр расчетов (статических, динамических, тепловых и др.) послужила импульсом к разработке различными фирмами пакетов прикладных программ конечно-элементного анализа. Это известные программные продукты фирм ANSYS Corporation, MSC. Software Corporation, Siemens и др.

МКЭ служит универсальным средством анализа конструкций, и среди многообразия CAD/CAM/CAE – программ пакеты конечно-элементного анализа играют важную роль. Для их эффективного применения, в отличие от CAD/CAM-систем, требуется более профессиональная подготовка, чем для изучения интерфейса и шаблонных приемов работы. Дело в том, что гибкость метода конечных элементов обеспечивается многовариантностью способов моделирования конструкции. Это влечет за собой большую вероятность появления скрытых ошибок, то есть ситуаций, когда результат анализа либо недостижим, либо абсурден, либо что самое опасное и распространенное, правдоподобен, но неверен. Что бы с большей вероятностью получить достоверный результат, от пользователя пакета конечно-элементного анализа требуется знание принципов и методов реализации этого метода, глубокое понимание механики поведения конструкций в используемой области анализа и наконец, владение методами выявления формальных и фактических ошибок.

В обрабатывающей промышленности, механическая обработка на станках с ЧПУ занимает неотъемлемую часть технологического процесса изготовления деталей высокой сложности. Во время съема материала, под действием сил резания в деталях возникают напряжения, приводящие к отклонению контуров детали от теоретических. Деформации, вызванные этим процессом, обычно зависят от величины сил резания и жесткости. Для конечных форм, которые содержат тонкие стенки или обширные пластинчатые структуры, деформация может быть настолько большой, что вызовет серьезные отклонения. Подобные нежелатель-

ные результаты являются неприемлемыми и должны быть выявлены до производства первой детали на станке, во избежание брака. Особенно актуальным это является в авиастроении при механической обработке тонкостенных конструкций из полимерных композиционных материалов двойной кривизны (обшивки самолетов, закрылки, интерцепторы, рули направления и высоты и т. д.) на станках с универсальным креплением заготовки (рисунок).



Рис. 1. Крепление заготовок двойной кривизны

Широкое применение находят трехслойные элементы конструкций, образованные из тонких несущих слоев и легкого заполнителя. Эффективность трехслойных конструкций можно проиллюстрировать следующими простыми оценками. Момент инерции стенки с толщиной h равен $h^3/12$, а масса единицы поверхности – ρh . Если теперь два листа с толщиной $h/2$ каждый расположить на расстоянии H и соединить заполнителем с малой плотностью ρ_0 , то при $H \gg h$ получим момент инерции $hH^2/4$ и массу $\rho h + \rho_0 H$. Отсюда следует, что, например, при $h = 0.1H$, $\rho_0 = 0.1\rho$ момент инерции возрастает в 300 раз, а масса всего в 2 раза. Следует отметить, что реальный заполнитель обладает сравнительно низкой сдвиговой жесткостью, что снижает фактический выигрыш в изгибной жесткости трехслойной стенки, однако получаемый результат вполне компенсирует усложнение технологии при замене гладких и подкрепленных панелей трехслойными. Отмеченные технологические трудности связаны в основном с необходимостью точного обеспечения зазора между несущими слоями. Они характерны для панелей одинарной и двойной кривизны с металлическими слоями и

исчезают при переходе на композиционные слои, обладающие в состоянии переделки высокой деформативностью.

Тонкостенные конструкции – пластины, оболочки, тонкостенные стержни – широко применяются в технике и строительстве. В одних случаях с их помощью достигается создание чрезвычайно легких и экономичных, но одновременно прочных и жестких сооружений, в других эти конструкции оказываются весьма гибкими.

Повышение эффективности тонкостенных конструкций неразрывно связано с совершенствованием методов их расчета. Большое влияние на развитие этих методов и особенно на развитие теории оболочек оказали основополагающие исследования советских ученых В.З. Власова, А.Л. Гольденвейзера, А.И. Лурье, В.В. Новожилова и др.

Сетчатые оболочки представляют собой разновидность мягких оболочек. Они отличаются тем, что их стенки образуются системой перекрещивающихся нитей, связанных в узлах.

Анализ, основанный на теории сетчатых оболочек, эффективен и при оптимизации конструкции оболочек из армированных пластиков.

Для получения наибольшей жесткости и прочности стеклопластиковых оболочек их целесообразно проектировать так, чтобы основная нагрузка воспринималась стеклонитями, а не полимерным связующим. При таком оптимальном проектировании также оказывается возможным исходить из схемы сетчатой оболочки. Если на стеклопластиковую оболочку, спроектированную подобным образом, действует нагрузка, отличающаяся от расчетной, в работу включается связующее и расчетная схема сетчатой оболочки перестает быть приемлемой.

Выполнение аналитических расчетов таких деталей является трудоемким. Применение в расчетах CAD/CAE-систем упрощает этапы создания конструкции и значительно снижает трудозатраты.

Использование численных методов при проектировании различных конструкций и машин продиктовано необходимостью постоянного повышения ка-

чества и надежности изделий, а также возможностью применения новых конструкционных материалов, если учитывать сложные условия работы современных изделий. Максимальный эффект от использования технологий численного инженерного анализа (САЕ, Computer-Aided Engineering) достигается при их использовании, начиная с самых ранних стадий проектирования. При этом снижаются стоимость изделия, вероятность возникновения рисков и срок выпуска изделия на рынок. Исследования поведения конструкций можно также проводить и с помощью экспериментального подхода. Этот способ позволяет оценивать поведение конструкции при воздействии на нее различных внешних факторов. Однако он является дорогостоящим, требует больших временных затрат, а иногда и вовсе не может быть применим. Сегодня в процессе разработки высокотехнологичной конкурентоспособной продукции, ведущие фирмы мира используют конечно-элементное моделирование, частично заменяя дорогостоящий натуральный эксперимент более дешевым и рациональным вычислительным экспериментом. Ведь современный уровень компьютерной техники позволяет решать сложные задачи на мощных рабочих станциях и кластерах достаточно быстро. Важно отметить, что при проведении реальных экспериментов, как правило, информацию можно получать лишь в десятках или сотнях точек. При численном моделировании таких точек может быть несколько сотен тысяч, а при необходимости – и больше.

Метод конечных элементов является мощным инструментом определения потенциальных деформаций, вызванных процессом механической обработки. Используя результаты работы метода конечных элементов, можно проектировать и предсказывать потенциальные деформации и уменьшить общие затраты при производстве.

Список литературы

1. Барановский Ю.В. Режимы резания металлов / Ю.В. Барановский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 407 с.
2. Рычков С.П. MSC. VisualNASTRAN для Windows / С.П. Рычков. – М.: НТ Пресс, 2004. – 552 с.

3. Гришин В.И. Прочность и устойчивость элементов и соединений авиационных конструкций из композитов / В.И. Гришин, А.С. Дзюба, Ю.И. Дударев. – М.: Физматлит, 2013. – 272 с.
4. Гончаров П.С. NX Advanced Simulation Инженерный анализ / П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с.
5. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов / В.В. Васильев – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
6. Зозуля В.В. Механика материалов / В.В. Зозуля, А.В. Мартыненко, А.Н. Лукин – Харьков: Изд-во Национального Ун-та внутр. дел, 2001. – 404 с.