ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АДАПТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЦЕССОМ НАМОТКИ

Аюшеев Т.В.
Восточно-Сибирский государственный технологический университет
e-mail: ikg@esstu.ru

Эффективность применения композиционных материалов (КМ) в различных конструкциях определяется степенью совершенства методов расчета и проектирования и технологией изготовления изделий. Ведущая роль в изготовлении изделий из волокнистых КМ принадлежит намотке. При этом главной технологической задачей намотки является получение спроектированных изделий и конструкций, удовлетворяющих заданному комплексу свойств. Решение этой задачи зависит от многих факторов: физико-механических свойств используемых композиционных материалов, от качества и точности, проведенных конструктором расчетов, от точности моделирования поверхности оправки, качества отработки расчетных траекторий намотки, точности укладки ленты на оправку по этим траекториям, создания на лентопроводе необходимого натяжения, от возможности намоточного оборудования.

На всех этапах создания изделия из КМ, получаемых методом намотки, начиная от проектирования, кончая его изготовлением, инженерам приходится решать разнообразные геометрические задачи теории поверхностей. Они связаны, в частности, с необходимостью описания формы изделия, с подготовкой производства, когда проектируется и изготавливается различная технологическая оснастка (оправка, технологические законцовки), включающая материальные носители геометрической информации (плазы, шаблоны, стапели). При сжатых сроках проектирования и создания новых образцов изделий из КМ геометрические задачи могут успешно решены только на основе современных методов геометрического моделирования поверхностей, ориентированных главным образом на применение современных средств вычислительной техники. В связи возросшими требованиями качества проектирования изделий из КМ в настоящее время интенсивно развиваются новые методы геометрического моделирования – методы твердотельного моделирования, которые широко применяются в системах сквозного проектирования класса CAD/CAM/CAE. Естественно, что в таких условиях к качеству подготовки инженерно-геометрической информации предъявляются повышенные требования. В связи с этим на сегодняшний день актуальными являются проблемы создания новых методов геометрического моделирования криволинейных поверхностей и тел, в полной мере использующих информационные ресурсы.

В докладе рассматриваются векторно-параметрические методы геометрического моделирования трехмерных тел слоистой структуры, которые позволяют повысить точность и эффективность решения целого ряда задач, связанных с проектированием и изготовлением изделий из КМ. При его разработке придерживалась концепция единого математического представления оболочки армирования как геометрического объекта трех ступеней: кривых, поверхностей и тела. Для описания этих объектов использовались кубические параметрические сплайны. Объекты первой ступени представляют собой сплайновые кривые или одномерные обводы, составленные из дуг этих кривых; объекты второй ступени – поверхности Кунса или двумерные обводы, составленные из порций этих поверхностей; объекты третьей ступени – сплошные тела, граничными поверхностями которых являются объекты первой, а граничными поверхностями – объекты второй ступени. Такая структуризация модели обеспечивает прозрачный переход к эффективному решению таких задач, как генерация поверхностных и объемных сеток с учетом изменения градиентных векторов на граничных кривых и последующий конечно-элементный анализ построенного объекта. При генерации поверхностной или объемной сетки для произвольной точки определяются компоненты метрического тензора и символы Кристоффеля, входящие в качестве коэффициентов в основные соотношения теории оболочек.

На рисунке 1 представлена порция тела с граничными поверхностями Кунса

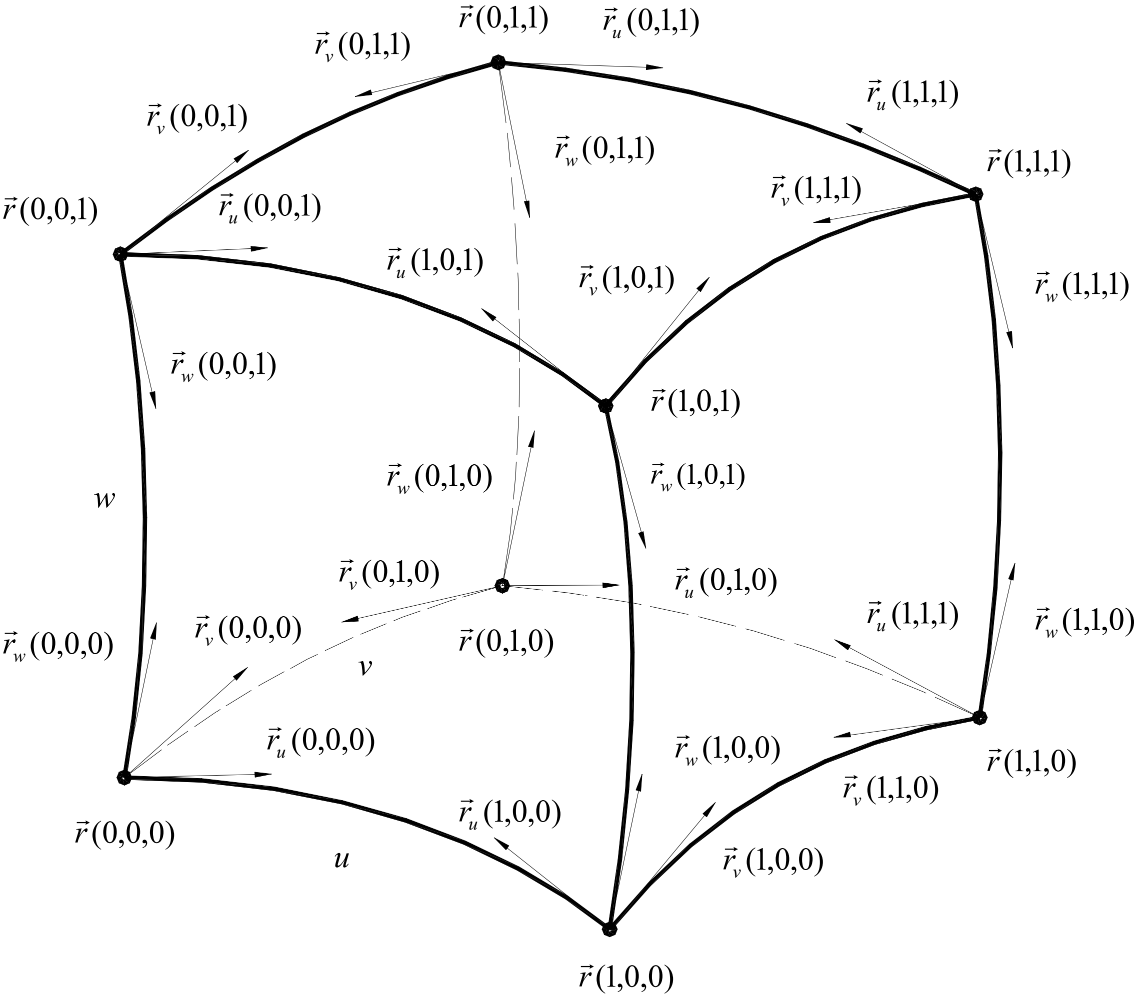

Рис. 1.

Уравнение порции тела имеет вид

$$\vec{r}(u,v,w) = F(u)\cdot A\cdot F^T(v)\cdot\alpha_0(w) + F(u)\cdot B\cdot F^T(v)\cdot\alpha_1(w) +$$
$$F(v)\cdot C\cdot F^T(u)\cdot\beta_0(w) + F(v)\cdot D\cdot F^T(u)\cdot\beta_1(w), \qquad (1)$$

где

$F(u) = [\alpha_0(u) \quad \alpha_0(u) \quad \beta_0(u) \quad \beta_1(u)]$ - матрица-строка,

$F^T(u) = [\alpha_0(u) \quad \alpha_0(u) \quad \beta_0(u) \quad \beta_1(u)]^T$ - матрица-столбец,

T – символ транспонирования и

$$A = \begin{bmatrix} r(0,0,0) & r(0,1,0) & r_v(0,0,0) & r_v(0,1,0) \\ r(1,0,0) & r(1,1,0) & r_v(1,0,0) & r_v(1,1,0) \\ r_u(0,0,0) & r_u(0,1,0) & r_{uv}(0,0,0) & r_{uv}(0,1,0) \\ r_u(1,0,0) & r_u(1,1,0) & r_{uv}(1,0,0) & r_{uv}(1,1,0) \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} r(0,0,1) & r(0,1,1) & r_v(0,0,1) & r_v(0,1,1) \\ r(1,0,1) & r(1,1,1) & r_v(1,0,1) & r_v(1,1,1) \\ r_u(0,0,1) & r_u(0,1,1) & r_{uv}(0,0,1) & r_{uv}(0,1,1) \\ r_u(1,0,1) & r_u(1,1,1) & r_{uv}(1,0,1) & r_{uv}(1,1,1) \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} r_w(0,0,0) & r_w(0,1,0) & r_{vw}(0,0,0) & r_{vw}(0,1,0) \\ r_w(1,0,0) & r_w(1,1,0) & r_{vw}(1,0,0) & r_{vw}(1,1,0) \\ r_{uw}(0,0,0) & r_{uw}(0,1,0) & r_{uvw}(0,0,0) & r_{uvw}(0,1,0) \\ r_{uw}(1,0,0) & r_{uw}(1,1,0) & r_{uvw}(1,0,0) & r_{uvw}(1,1,0) \end{bmatrix},$$

$$D = \begin{bmatrix} r_w(0,0,1) & r_w(0,1,1) & r_{vw}(0,0,1) & r_{vw}(0,1,1) \\ r_w(1,0,1) & r_w(1,1,1) & r_{vw}(1,0,1) & r_{vw}(1,1,1) \\ r_{uw}(0,0,1) & r_{uw}(0,1,1) & r_{uvw}(0,0,1) & r_{uvw}(0,1,1) \\ r_{uw}(1,0,1) & r_{uw}(1,1,1) & r_{uvw}(1,0,1) & r_{uvw}(1,1,1) \end{bmatrix}.$$

Следует заметить, что порция тела (1) полностью определена через векторы $\vec{r}, \vec{r}_u, \vec{r}_v, \vec{r}_w, \vec{r}_{uw}, \vec{r}_{vw}, \vec{r}_{uv}$ и $\vec{r}_{uvw}$ в ее восьми углах, т.е. через компоненты тензоров A, B, C и D. Если строить составное тело из таких порций, можно легко обнаружить, что достигается непрерывность градиента во всех граничных точках порций.

Данный метод использовался при создании твердотельных моделей деталей сложной формы. На рисунке 2, в качестве примера, приведено крыло самолета, состоящего из трех отсеков или порций, причем два из них гладко состыкованы между собой.

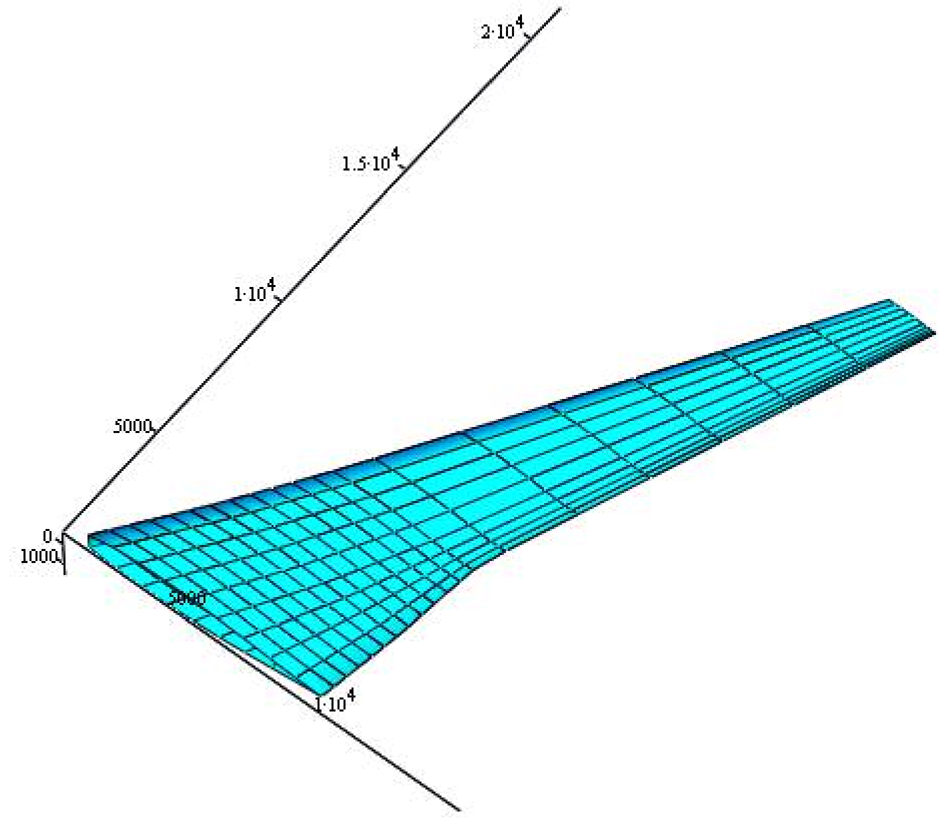

Рис. 2

Для оценки формы тела полученной оболочки с точки зрения технологической реализуемости и получения требуемых свойств изделия на базе созданной объемной модели реализована математическая модель укладки ленты из КМ с однонаправленными волокнами при намотке. Эта модель позволяет описать поведение волокон, нитей ленты при их укладке внахлест и переплетении с другими лентами на поверхности армирования. Для полученной трехмерной модели разработаны способы и алгоритмы расчета всех необходимых параметров процесса намотки и получающейся оболочки армирования. На рисунке 3 представлена “ленточная” модель армирования по геодезической линии хвостовой балки вертолета, имеющей форму эллиптического конуса.

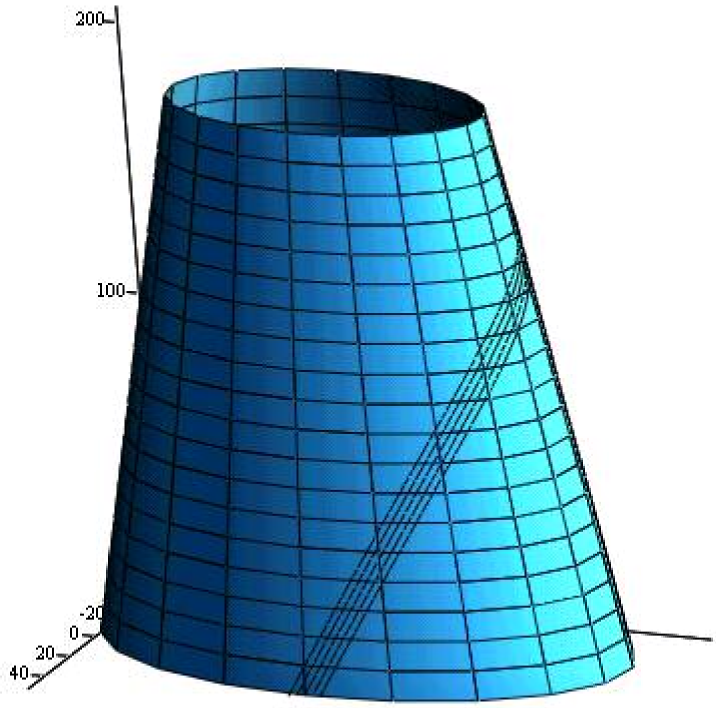

Рис.3

В отличие от большинства разработанных геометрических моделей, которые направлены на решение конкретных задач, представляемая объемная трехмерная модель открыта и переносима для решения широкого спектра задач конструкторского и технологического расчетов, а также подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. В совокупности с базовым набором синтеза и анализа геометрии пространственных объектов слоистой структуры в данной модели предложены механизмы параметризации конструктивной модели и построение на их базе геометрии тела его физической модели с реальными свойствами.

Наличие такого инструмента дает возможность технологу получить более точную картину проектируемого объекта, прогнозировать и оперативно решать многие технологические задачи для получения требуемых свойств изделия уже на этапе проектирования.

Помимо проблемы геометрического моделирования процесса намотки, актуальной задачей на сегодняшний день является обеспечение необходимой точности реализации процесса намотки по этим моделям на станках с ЧПУ.

В докладе рассматривается метод управления процессом намотки с применением системы технического зрения (СТЗ) как один из вариантов решения указанной задачи.