



Автоматизация синтеза виртуальных моделей технологического оборудования в системах автоматизированного программирования многокоординатных станков с ЧПУ

А.Г. Савин

ООО «НПП ВИУС», Новочеркасск

Аннотация: в настоящей работе представлено описание разработанного формализованного метода синтеза виртуальных моделей технологического оборудования, позволяющего в системах автоматизированного программирования многокоординатных станков с ЧПУ связать в единую модель математическое представление станков и их трехмерные модели, а также автоматизирующий процесс создания в данных системах виртуальных моделей станков различных типов.

Ключевые слова: автоматизация технологического процесса подготовки станочных управляющих программ, формализованный метод синтеза виртуальных моделей станков.

Широкое применение во всех сферах человеческой деятельности благодаря своим свойствам нашли полимерные композиционные материалы. Одним из самых производительных технологических способов получения изделий из полимерных композиционных материалов является метод непрерывной намотки посредством подачи и укладки пропитанных волокон материала под натяжением на поверхность технологической оснастки (оправки). Наряду с методом намотки, часть изделий, в частности имеющих сложную геометрическую форму поверхности, целесообразно изготавливать с применением автоматизированной выкладки их заготовок. Выкладка материала осуществляется послойно на оправку изделия, сразу необходимой конфигурации. Операции выкладки: автоматическая подача и обрезка материала выполняются выкладочной головкой [1].

Намотка и выкладка производятся на многокоординатных станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Управление рабочими органами станков осуществляется по заранее составленным управляющим программам. Для подготовки управляющих программ разработаны и широко используются системы автоматизированного программирования



многокоординатных станков, которые являются подсистемами автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) и позволяют создавать станочные управляющие программы на высоком уровне автоматизации с применением современной вычислительной техники [1, 2].

В системах автоматизированного программирования многокоординатных станков при подготовке управляющих программ для проверки правильности решения задач кинематического анализа применяется моделирование кинематики станков [3 – 5].

Для моделирования кинематики технологического оборудования на этапах расчёта зоны безопасности, траектории движения точки схода нити, траекторий и законов движения рабочих органов станков, необходимы математические модели станков, а при моделировании процесса формирования изделий для контроля и отладки рассчитанных управляющих программ, требуются виртуальные модели станков [6]. Виртуальные модели станков, интегрируют в себе математические и трёхмерные модели.

Для автоматизации процесса создания виртуальных моделей станков различных типов в системе автоматизированного программирования необходим формализованный метод синтеза виртуальных моделей технологического оборудования, позволяющий связать в единую модель математическое представление станков и их трёхмерные модели.

Для синтеза виртуальной модели станка, необходимо решить две задачи: предложить формализованную процедуру получения математической модели многокоординатного технологического оборудования, для описания кинематической модели станка и разработать алгоритм, позволяющий сопоставить математическую и трёхмерную модель станка.

Предлагается для решения задачи моделирования кинематики многокоординатных станков, применять формализованную процедуру



получения математических моделей станков, предполагающую построение кинематической модели технологического оборудования при использовании представления Денавита – Хартенберга [7 – 9] и адаптацию к конкретной модели станка путём составления системы нелинейных уравнений для проецирования пространственной траектории точки схода материала на координаты станка.

Многокоординатный станок, может рассматриваться как манипулятор, при этом каждому звену манипулятора при помощи представления Денавита – Хартенберга сопоставляется ортонормированная система координат. Выбор систем координат производится с учётом конфигурации станка. Каждому звену станка обладающему отдельным управляемым приводом назначается своя обобщенная координата. Системы координат нумеруются в порядке возрастания от основания к выходному звену укладчика. Взаимное расположение соседних звеньев описывается однородной матрицей преобразования размерностью 4×4 [7 – 9].

Рассмотрим более детально получение базового векторного уравнения входящего в состав системы нелинейных уравнений для проецирования пространственной траектории точки схода материала на координаты станка.

Построенная в результате применения представления Денавита – Хартенберга кинематическая схема станка такова, что материал сходит с одной и той же точки выходного звена укладчика в течение всего процесса укладки, а, следовательно, траектории движения точки схода материала и выходного звена укладчика можно рассматривать как одну и ту же траекторию (если в качестве траектории движения выходного звена укладчика выбрать траекторию, той самой фиксированной точки, в которой закреплен материал) (рис. 1).

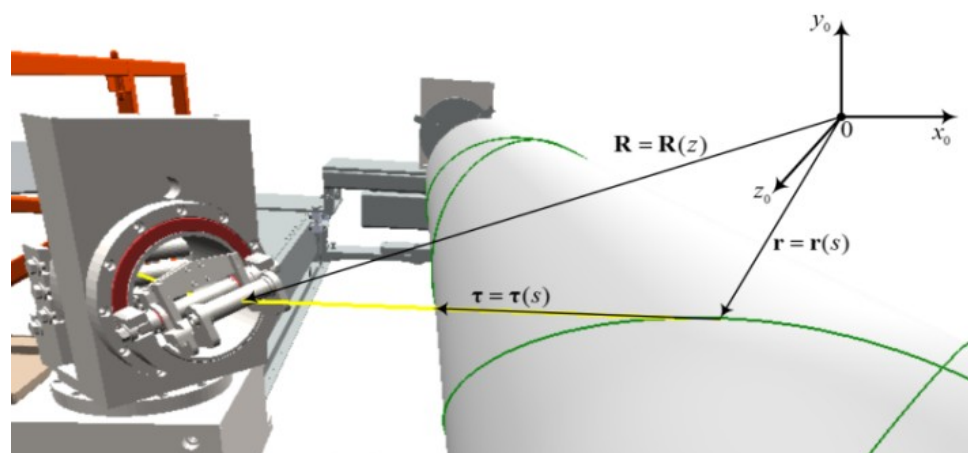


Рис. 1 - Иллюстрация взаимосвязи точки схода материала и точки касания материала оправки в процессе моделирования намотки изделия на станке токарного типа.

Для намоточных станков заданная траектория укладки может быть реализована при движении точки схода материала в поверхности касательных к траектории укладки. При этом каждой точке траектории укладки можно сопоставить положение точки схода материала с помощью известного соотношения [10]:

$$\mathbf{R}(z) = \mathbf{r}(s) + \lambda(s)\boldsymbol{\tau}(s), \quad (1)$$

где $\mathbf{R}(z)$ – радиус-вектор точки схода материала; $\mathbf{r}(s)$ – радиус-вектор траектории укладки нити на поверхности оправки (в однородных координатах); $\lambda(s)$ – длина участка свободной нити, заключенной между точкой траектории укладки и точкой схода материала; $\boldsymbol{\tau}(s)$ – единичный вектор касательной к траектории укладки в данной точке (в однородных координатах); s – натуральный параметр траектории укладки, z – натуральный параметр траектории движения точки схода материала.

С другой стороны, положение точки схода материала с выходного ролика в пространстве зависит от положения укладчика, которое определяется значениями обобщенных координат станка.



Обозначим вектором Y – радиус-вектор выходной точки раскладчика намоточного станка. С учетом (1) и необходимости приведения всех векторов к одной системе координат, получим следующее векторное уравнение:

$$\mathbf{T}(\mathbf{x})(\mathbf{r}(s) + \lambda(s)\boldsymbol{\tau}(s)) = \mathbf{Y}(\mathbf{x}), \quad (2)$$

где \mathbf{x} – вектор обобщенных координат станка; $\mathbf{T}(\mathbf{x})$ – матрица приведения систем координат оправки и станка. Если в векторном уравнении (2) задать значение λ , то для трёхкоординатного станка оно станет разрешимым.

Для выкладочных станков при сопоставлении точкам траектории укладки положений точек схода материала, запишем:

$$\mathbf{R}(z) = \mathbf{r}(s) + h\mathbf{m}(s),$$

где \mathbf{m} – вектор нормали к поверхности; h – радиус ролика укладчика.

Тогда для расчета координатных перемещений рабочих органов выкладочных станков, будем использовать следующее векторное уравнение:

$$\mathbf{T}(\mathbf{x})(\mathbf{r}(s) + h\mathbf{m}(s)) = \mathbf{Y}(\mathbf{x}).$$

Для станков с количеством управляемых координат более трёх, необходимо найти дополнительные уравнения, которые позволят получить полную систему нелинейных алгебраических уравнений, предназначенную для численного решения. Полученное решение должно проверяться с точки зрения механической реализуемости.

Формализованную процедуру получения математической модели станка можно записать в следующем виде:

– строится кинематическая схема технологического оборудования, которая может включать в себя не только основные кинематические пары, но и ключевые точки лентоформирующего тракта;



- для решения прямой задачи кинематики составляются матрицы переходов между звеньями станка и таблица кинематических параметров станка;
- для решения обратной задачи кинематики составляется система нелинейных уравнений, связывающих обобщенные координаты станка и положение и ориентацию в пространстве выходного устройства раскладчика;
- при необходимости, определяются выражения для расчета длины сошедшей ленты в ключевых точках лентоформирующего тракта многокоординатного станка.

В результате использования при численном решении подобной математической модели будут получены координатные перемещения рабочих органов станка соответствующие заданной траектории движения точки схода выходного звена укладчика.

Построение трехмерной модели станка предлагается выполнять, также как и его математической модели, в виде иерархической модели создаваемой вложением отдельных графических компонентов станка один в другой с формированием древовидной структуры, что позволит при необходимости производить быстрые замены отдельных звеньев модели станка (например, заменить выходную гребёнку роликом). Для получения виртуальной модели станка будем связывать выделенные в полученной кинематической модели звенья и с их графическим представлением.

В кинематической и геометрической трехмерной модели станка узел выделяется в отдельный блок и требует отдельного графического описания, если:

- звено станка обладает отдельной управляемой обобщённой координатой;
 - звено станка в реальном аналоге физически представляет собой отдельный функциональный блок;
-



– для данного звена необходимо изменение положения и ориентации отдельно от остальных звеньев модели в ходе моделирования.

Каждому выделенному в отдельную группу объекту при его размещении в иерархии геометрической модели также сопоставляется отдельный набор аффинных преобразований для корректного отображения в общей модели.

Формирование геометрической модели станка возможно как в различных САД – системах, так и в собственном компьютерном пакете, в котором тогда должны присутствовать инструментарий для создания иерархических моделей и средства отображения и управления ими. Визуализацию процесса моделирования сложной модели станка организуем с использованием механизма вложенных таблиц отображения графической библиотеки OpenGL.

Алгоритм сопоставления математической и геометрической модели станка можно записать следующим образом:

1. Создаются отдельные звенья станка (их геометрические аналоги, построенные с соблюдением реальных размеров и характеристик). При этом проектируется основная геометрия, задаются межосевые расстояния, а затем с помощью инструментов модуля сборки создаются группы и иерархические связи между отдельными геометрическими объектами. На основании созданной иерархической структуры будут формироваться таблицы отображения OpenGL.

2. Проектируется кинематическая модель многокоординатного агрегата. Создается компьютерная модель основанная на кинематических парах, которой можно задавать значения обобщенных координат для позиционирования в пространстве тем самым реализуя любое требуемое движение. При создании кинематической пары указывается будет ли эта кинематическая пара определять степень подвижности станка или же это



будет просто конструктивная кинематическая пара, а также задается реальное ограничение – диапазон численных значений для каждой кинематической пары, в котором будет располагаться реальное значение координаты.

3. Созданной кинематической модели сопоставляется построенная ранее геометрическая модель станка. В кинематической модели станка указанные узлы выделяются в отдельный блок и им назначается графический объект. При этом с каждым отдельным звеном станка специальным образом связывается отдельная локальная система координат, что позволяет создавать анимационную последовательность движения рабочих органов станка в соответствии с рассчитанными перемещениями.

В результате выполнения алгоритма формируется виртуальная модель многокоординатного агрегата, состоящая из отдельных деталей – звеньев станка. Наложены ограничения и связи. Создан набор параметров, которые отвечают за положение рабочих органов станка в пространстве. Изменении обобщенных координат, унифицировано, для любого набора кинематических пар, то есть для любой кинематической модели решается прямая задача кинематики. Все это выполнено в виде шаблона, который интегрируется в различные модели многокоординатного оборудования.

Литература

1. Ред. совет: Фролов К.В. (пред.) и др. Машиностроение. Энциклопедия. Боголюбов В.С., Сироткин О.С., Головкин Г.С. и др. Технология производства изделий из композиционных материалов, пластмасс, стекла и керамики. Т. III-6. М.: Машиностроение, 2006. 576 с.
2. Миньков Д.В., Зотов В.В., Белоусов М.Н., Башкиров О.М., Седин Е.Б. Автоматизированная система подготовки производства инновационной



продукции // Инженерный вестник Дона, 2008, № 3
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2008/91.

3. Савин А.Г. Математическое моделирование пятикоординатного двухшпиндельного намоточного станка // Инженерный вестник Дона, 2016, № 3, URL:ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_54_Savin.pdf_22dcaf2d67.pdf.

4. Peters, S T (2011) “Composite Filament Winding”, Materials Park, Ohio: ASM International, ISBN 1615037225, 167 p.

5. Koussios, S (2004) “Filament Winding: a Unified Approach”, DUP Science, ISBN 90-407-2551-9, 400 p.

6. Маринин В.И., Князев Д.Н., Савин А.Г. Цифровая имитация процесса намотки изделий из композиционных материалов // Металлургия, Машиностроение. Станкоинструмент - 2006: в рамках промышленного конгресса Юга России: сб. тр. Ростов-на-Дону, 2006. С. 5:7-5:9.

7. Воробьев В.И. Механика промышленных роботов: Учебное пособие для вузов: В 3 кн. Кн. 1: Кинематика и динамика. М.: Высш. шк., 1988. 304 с.

8. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы. М.: Наука, 1978. 400 с.

9. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 624 с.

10. Маринин В.И., Князев Д.Н., Савин А.Г. Кинематический расчет пятикоординатного намоточного станка с выходным укладываемым роликом нитетракта // Материалы 26-й ежегодной международной конференции, Ялта, 2006, с. 138-141.

References

1. Red. sovet: Frolov K.V. (pred.) i dr. Mashinostroenie. Encyklopediya. Bogolyubov V.S., Sirotkin O.S., Golovkin G.S. i dr. Tehnologiya proizvodstva izdeliy iz kompozicionnyh materialov, plastmass, stekla i keramiki. T. III-6.



[Mechanical engineering. Encyclopedia. Products of composite materials, plastics, glass and ceramics manufacturing technology] M.: Mechanical engineering, 2006. 576 p.

2. Min'kov D.V., Zotov V.V., Belousov M.N., Bashkirov O.M., Sedin E.B. Inzhenernyy vestnik Dona (Rus), 2008, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2008/91.

3. Savin A.G. Inzhenernyy vestnik Dona (Rus), 2016, № 3, URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_54_Savin.pdf_22dcdf2d67.pdf.

4. Peters, S T (2011) "Composite Filament Winding", Materials Park, Ohio: ASM International, ISBN 1615037225, 167 p.

5. Koussios, S (2004) "Filament Winding: a Unified Approach", DUP Science, ISBN 90-407-2551-9, 400 p.

6. Marinin V.I., Knyazev D.N., Savin A.G. Digital simulation winding process of manufacturing composite materials [Metallurgiya, Mashinostroenie. Stankoinstrument - 2006: v ramkah promyshlennogo kongressa Yuga Rossii: sb. tr.] Rostov-on-Don, 2006. pp. 5:7-5:9.

7. Vorobyov V.I. Mehanika promyshlennyh robotov: uchebnoe posobie dlya vuzov: v 3 kn. 1: Kinematika i dinamika. [Mechanics of industrial robots: tutorial: Kinematics and dynamics] Moscow: High. sch., 1988. 304 p.

8. Popov E.P., Vereshyagin A.F., Zenkevich S.L. Manipulyacionnye roboty: dinamika i algoritmy [Handling robots: dynamics and algorithms]. Moscow: Science, 1978. 400 p.

9. Fu K., Gonzalez R., Lee K. Robototekhnika [Robotics]: trans. from. eng. Moscow: World, 1989. 624 p.

10. Marinin V.I., Knyazev D.N., Savin A.G. Materialy Kinematic calculation of five-axis winding machine with an output stacked roller [26-y ezhegondoy mezhdunarodnoy konferencii] Yalta, 2006, pp. 138-141.