УДК 621.01

А.С. Фомин, Л.Т. Дворников

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

При обработке сложных внутренних поверхностей деталей машин переменного сечения обрабатывающему элементу (резцу) должно быть задано сложное винтовое движение по пространственной траектории.

Поиски конструктивных схем механизмов, удовлетворяющих поставленным условиям, привели авторов к убеждению, что в наибольшей степени пригодными для реализации сформулированных целей оказываются пространственные механизмы, относящиеся ко второму семейству по классификации акад. Артоболевского И.И. В таких механизмах движение звеньев происходит в пространствах, ограниченных четырьмя независимыми движениями, при этом вокруг одной из осей декартовой системы координат обеспечивается винтовое движение, то есть к механизмам, описываемым структурной формулой вида [1, стр. 87]

$$W_2 = 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3. \qquad (1)$$

Наиболее простым механизмом второго семейства является такой, в котором используется наименьшее число звеньев и в качестве кинематических пар применяются только пары пятого класса p_5, то есть при условии, что $p_3 = p_4 = 0$. Тогда, учитывая, что подвижность механизма $W_2=1$, из формулы (1) выразим p_5, как

$$P_5=(4n-1)/3.$$

Наименьшим числом звеньев является n=4, тогда кинематических пар должно быть p_5=5. Исходя из этих условий, создан механизм, схема которого показана на рис. 1, а его новизна защищена патентом РФ на изобретение [2]. С учетом обеспечения сложного винтового движения резцу R, назовем этот механизм пространственно-геликоидным [3, стр.197].

Механизм состоит из кривошипа *1*, шатуна *2*, выполненного в виде винта, гайки *3* с резцом R и коромысла *4*, соединенных между собой пятью кинематическими парами пятого класса (p_5=5): четырьмя вращательными и одной винтовой.

Обратимся к задаче кинематического исследования механизма. Траектория движения резца R может быть найдена путем сложения переносного движения точки B в составе шатуна *2*, движущегося плоско – параллельно, и относительного винтового движения гайки *3* с резцом относительно шатуна. Положение резца R в любой момент времени будет определяться радиус-вектором, являющимся суммой векторов $\bar{r}_B$ и $\bar{r}_{RB}$

$$\bar{r}_R = \bar{r}_B + \bar{r}_{RB} \qquad (2)$$

Представим звенья механизма векторами $\bar{l}_1$, $\bar{l}_2$, $\bar{l}_4$ и $\bar{l}_{O_1O_2}$. Вектор $\bar{l}_2 = \overline{AB} = \bar{x} + \bar{m}$, где B – точка пересечения геометрических осей звеньев *2* и *4*, $\bar{x}$ – переменное смещение точки B относительно A, а $\bar{m}$ – постоянный по величине вектор, определяемый из неизменяемого треугольника CO_2B. Углы наклона звеньев относительно оси O_1X обозначим соответственно φ_1, φ_2 и φ_4. Запишем уравнение замкнутости контура $O_1ABO_2O_1$

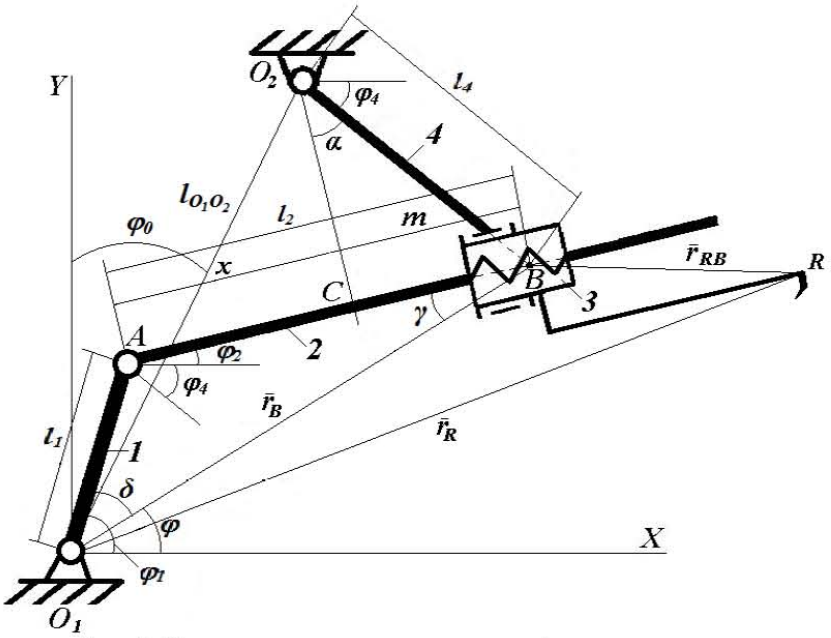

Рис. 1. Схема пространственно-геликоидного механизма

$$\bar{l}_1 + \bar{l}_2 + \bar{l}_4 = \bar{l}_{O_1O_2}. \qquad (3)$$

Принимая во внимание углы наклона звеньев, показанные на рис. 1, спроектируем векторы уравнения (3) на оси X и Y учитывая, что $\varphi_2 + \varphi_4 + \alpha = 90^\circ$

$$\begin{cases} l_1 cos\varphi_1 + (x+m)cos\varphi_2 - \\ \qquad - l_4 sin(\varphi_2 + \alpha) = l_{O_1O_2} sin\varphi_0, \\ l_1 sin\varphi_1 + (x+m)sin\varphi_2 + \\ \qquad + l_4 cos(\varphi_2 + \alpha) = l_{O_1O_2} cos\varphi_0, \end{cases}$$

откуда могут быть найдены функции изменения переменного смещения x и угла наклона звена *2* к оси O_1X, то есть угла φ_2.

Рассмотрим положение точки B при ее смещении по шатуну (рис. 1). Оно определится радиус–вектором $\bar{r}_B = \bar{l}_1 + \bar{l}_2 = \bar{l}_1 + \bar{x} + \bar{m}$, величину которого можно найти из выражения

$$r_B = l_1 cos\delta + l_2 cos\gamma = \\ = l_1 cos(\varphi_1 - \varphi) + (x+m)cos(\varphi - \varphi_2),$$

где угол φ определяется углами φ_1 и φ_2

$$tg\varphi = \frac{\Delta}{\tau} = \frac{l_1 sin\varphi_1 + (x+m)sin\varphi_2}{l_1 cos\varphi_1 + (x+m)cos\varphi_2}.$$

Обратимся к радиус-вектору $\bar{r}_{RB}$, который является некомпланарным к векторам $\bar{l}_1$ и $\bar{l}_2$ и выходит из плоскости движения звеньев *1* и *2* механизма. Для определения радиус-вектора $\bar{r}_R = \bar{r}_B + \bar{r}_{RB}$ (рис.1) воспользуемся системой автоматизированного проектирования «T-FLEX CAD», позволяющей отследить изменение декартовых координат точки R (X_R, Y_R, Z_R) во времени. Результаты расчета приведены в таблице, а построенная по ним траектория движения резца показана на модели исследуемого механизма (рис.2.)

Изменяя размеры звеньев и параметры резьбы винтовой пары можно решить обратную задачу, а именно, нахождение параметров механизма, обеспечивающих требуемое движение резца.

Анализ траектории движения режущего инструмента

№	t, сек	X_R, мм	Y_R, мм	Z_R, мм
1	0,0	31,6	-241,6	336,4
2	0,4	39,2	-250,4	335,8
3	0,8	-6,9	-294,8	310,2
4	1,2	-40,0	-266,2	318,3
5	1,6	-26,0	-252,3	319,2
6	2,0	-20,5	-260,5	303,7
7	2,4	-34,7	-280,0	272,1
8	2,8	-31,6	-311,0	211,8
9	3,2	29,5	-311,2	183,7
10	3,6	6,0	-283,8	223,1
11	4,0	-32,3	-302,8	148,5
12	4,4	37,2	-299,9	155,6
13	4,8	28,1	-287,3	221,2
14	5,2	37,8	-286,7	258,9
15	5,6	3,5	-309,6	273,7
16	6,0	-31,6	-241,6	336,4
17	6,4	39,2	-250,4	335,8
18	6,8	-6,9	-294,8	310,2
19	7,2	-40,0	-266,2	318,3
20	7,4	-26,0	-252,3	319,2

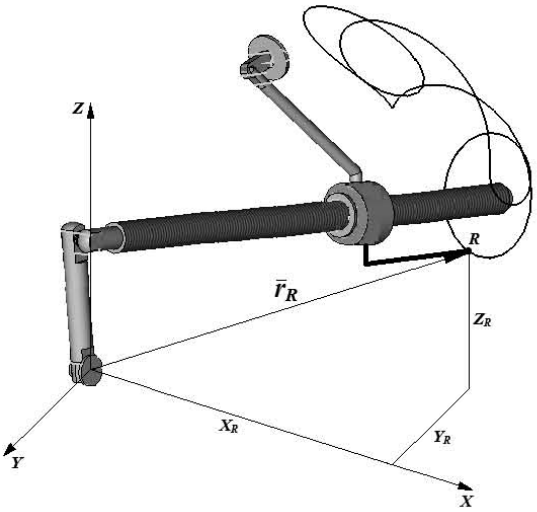

Рис. 2. Траектория движения резца R пространственно-геликоидного механизма

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов. Изд-во «Наука», 1965.

2. П. 2309051, СССР, МПК B43L 11/00. Механизм для воспроизведения пространственных кривых / Сибирский государственный индустриальный университет; Л.Т. Дворников [и др.]. – Опубл. в Б.И., 2007. – № 30.

3. *Фиников С.П.* Курс дифференциальной геометрии. Гос. изд-во тех.-теор. литературы, 1952.

Авторы статьи:

Дворников Леонид Трофимович, докт.техн. наук, проф., зав. каф. теории механизмов и машин и основ конструирования.(СибГИУ, г. Новокузнецк).Email: tmmiok@yandex.ru

Фомин Алексей Сергеевич, аспирант каф.теории механизмов и машин и основ конструирования, ведущий инженер СБИ, СибГИУ, e-mail: alexey-nvkz@mail.ru.