

Литература

1. Барановский, Д. С. Конструктивные решения контроля ширины полосы для горячей прокатки по «слиттинг-процессу» / Д. С. Барановский // Беларусь в современном мире : материалы XIV Междунар. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 13–14 мая 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. «Белорус. о-во «Знание» ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2021. – С. 250–253.
2. Разработка технологии и освоение производства арматуры № 6 класса прочности А500С формы 2ф в бухтах по требованиям ГОСТ 34028–2016 / С. А. Савченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2024. – № 1. – С. 39–46. DOI: 10.21122/1683-6065-2024-1-39-46
3. Барановский, Д. С. Совершенствование прокатки по «слиттинг-процессу» в контрольном калибре стана 320 ОАО «БМЗ» / Д. С. Барановский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2021. – Ч. 1. – С. 93–97.
4. Астапенко, И. В. Особенности горячей прокатки высоких полос в ящичном калибре / И. В. Астапенко, Д. М. Васильков // Современные проблемы машиноведения : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 22–23 нояб. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Фил. ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого». – Гомель, 2018. – С. 114–117.

УДК 621.865.8-529

**РАСЧЕТ ПОЛОЖЕНИЯ И РАСПОЛОЖЕНИЯ СХВАТА РОБОТА
В СПЕЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ****А. Е. Марченко***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. И. Михайлов

Произведен расчет положения и расположения схвата робота в специальной системе координат. В результате проведенного расчета были определены значения координат положения и расположения схвата робота.

В производстве широко используются робототехнические комплексы с шестизвенными манипуляторами, выполняющие основные (формообразование, изменение размеров заготовок) и вспомогательные (загрузка, выгрузка) операции. Манипуляторы исключают влияние человеческого фактора и выполнение монотонных операций с высокой точностью, создавая новые процессы и снижая негативное воздействие на человека. Для эффективной работы необходимо точное управление траекторией и скоростью манипуляторов.

Ключевые слова: стационарный робот, задача кинематики, точность перемещений и поворотов, положение и расположение схвата.

**CALCULATION OF THE POSITION AND ORIENTATION
OF THE ROBOT GRIPPER IN A SPECIAL COORDINATE SYSTEM****A. E. Marchenko***Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Science supervisor M. I. Mikhailov

The calculation of the position and orientation of the robot gripper in a special coordinate system has been carried out. As a result, the coordinates of the position and orientation of the robot gripper were determined.

108 Перспективные направления совершенствования материалов и технологий

Robotic complexes with six-link manipulators are widely used in production, performing both primary (shaping and resizing of workpieces) and auxiliary (loading and unloading) operations. Manipulators eliminate human factor influence and perform monotonous operations with high precision, creating new processes and reducing negative impacts on humans. Precise control of the manipulator's trajectory and speed is necessary for effective operation.

Keywords: stationary robot, kinematics problem, movement and rotation accuracy, position and orientation of the gripper.

Цель работы – расчет положения и расположения схвата робота в специальной системе координат и точности его позиционирования.

Для достижения поставленной цели были решены задачи прямой и обратной кинематики в специальной системе координат. Решение прямой задачи позволит оценить точность позиционирования манипулятора путем сопоставления экспериментальных и расчетных значений его положения и ориентации. В свою очередь, решение обратной задачи даст возможность оценить точность перемещений сочленений робота.

Рассмотрим подробнее каждую из решенных задач.

Исходными данными для решения прямой задачи является зона обслуживания. Согласно ей формируется код компоновки: *OCYZXAB*.

Определяются:

- поступательные движения в положительном направлении вдоль осей – 20 мм;
- угол поворота вокруг осей против часовой стрелки – 30° ;
- постоянные расстояния между сочленениями – 200 мм.

Прямая задача кинематики в специальной системе координат: описание с помощью представления Денавита–Хартенберга. Прямая задача кинематики включает в себя определение положения и ориентации манипулятора в пространстве на основе известных углов сочленений и длин звеньев. Одним из методов представления этой задачи является подход Денавита–Хартенберга, который описывает кинематику манипулятора через последовательные преобразования координатных систем между сочленениями.

Первым этапом является построение принципиальной схемы робота согласно коду компоновки и значениям перемещений сочленений и их размеров (рис. 1).

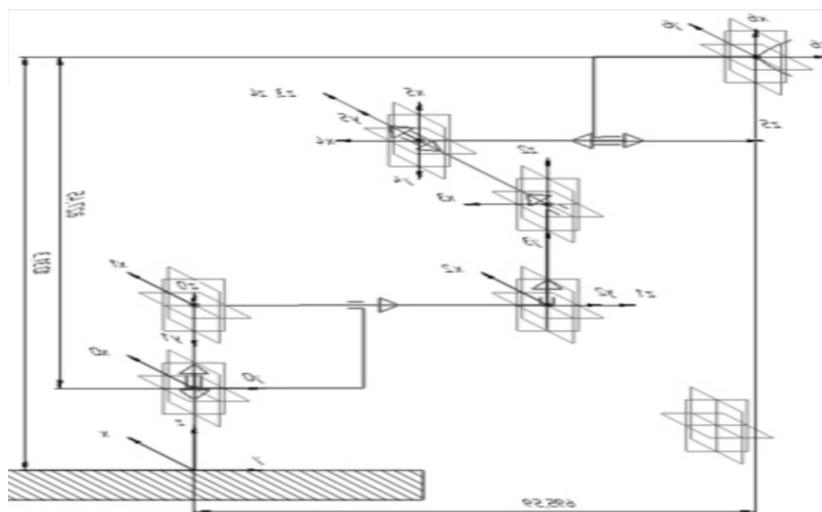


Рис. 1. Принципиальная схема и специальные системы координат

На последующем этапе процедуры внесения данных, применяются специальные системы координат (рис. 1). Создание такой системы координат включает ряд шагов:

- Шаг 1. Создание базовой системы координат, где формируется правильная ортонормированная система координат (x_0, y_0, z_0) , привязанная к основанию с учетом того, что ось z_0 направлена вдоль оси первого сочленения к «плечу» манипулятора. Оси x_0 и y_0 выбираются произвольно при условии их перпендикулярности оси z_0 .
- Шаг 2. Формирование осей сочленения, где ось z_i направлена вдоль оси движения (вращательного или поступательного) следующего сочленения $i + 1$.
- Шаг 3. Установка начала i -й системы координат на пересечении осей z_i и z_{i-1} или на пересечении общей нормали к осям z_i и z_{i-1} с осью z_i .
- Шаг 4. Определение оси x_i , выбирая единичный вектор x_i , или вдоль общего перпендикуляра к осям z_{i-1} и z_i , если они параллельны.
- Шаг 5. Установка оси y_i так, чтобы получить правостороннюю систему координат.

На третьем этапе формируется и заполняется таблица параметров, связывающих смежные системы координат. Определение этих параметров происходит следующим образом:

- Шаг 1. Определение расстояния d_i – от начала $(i - 1)$ -й системы координат до пересечения оси z_{i-1} с осью x_i и началом i -й системы координат, отсчитываемого вдоль оси z_{i-1} .
- Шаг 2. Определение расстояния оси a_i между пересечением оси z_{i-1} с осью x_i и началом i -й системы координат, отсчитываемого вдоль оси x_i .
- Шаг 3. Определение угла поворота θ_i оси x_{i-1} вокруг оси z_{i-1} , чтобы она стала сонаправленной с осью x_i .
- Шаг 4. Определение угла поворота α_i оси z_{i-1} вокруг оси x_i , чтобы она стала сонаправленной с осью z_i .

На четвертом этапе записывается матрица для определения положения и расположения сочленений в специальной системе координат. Формируются матрицы, содержащие значения параметров (рис. 2).

№ элемента	№ сочленения	Y_i	C_i	a_i	α_i
0	0,1	-30	200	0	90
1	1,2	0	420	0	-90
2	2,3	90	220	0	-90
3	3,4	0	220	0	0
4	4,5	-120	0	0	90
5	5,6	30	400	-200	0
6	6	-	-	-	-

Рис. 2. Таблица параметров

На пятом этапе подставляя в специальную матрицу значения параметров получаем матрицы связи смежных систем координат (рис. 3). Находим произведение матриц связи и подставляем результат в общее выражение связи начальной и конечной систем координат (рис. 4).

$$A_{\text{общ}} := \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha) & \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha) & \vec{a} \cdot \cos(\gamma) \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha) & -\cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha) & a \cdot \sin(\gamma) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\vec{\gamma} := \begin{bmatrix} -30 \\ 0 \\ -90 \\ 0 \\ -120 \\ 30 \end{bmatrix} \quad \vec{\alpha} := \begin{bmatrix} -90 \\ 90 \\ -90 \\ 0 \\ 90 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C := \begin{bmatrix} 200 \\ 420 \\ 220 \\ 220 \\ 0 \\ 400 \end{bmatrix} \quad a := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 200 \end{bmatrix}$$

Рис. 3. Матрица для определения положения и расположения в специальной системе координат

$$A := \begin{bmatrix} \cos(\gamma_1 \text{ deg}) & -\sin(\gamma_1 \text{ deg}) \cdot \cos(\alpha_1 \text{ deg}) & \dots \\ \sin(\gamma_1 \text{ deg}) & \cos(\gamma_1 \text{ deg}) \cdot \cos(\alpha_1 \text{ deg}) & \dots \\ 0 & \sin(\alpha_1 \text{ deg}) & \dots \\ 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Рис. 4. Пример подстановки в матрицу значения параметров и получения матрицы связи смежных систем координат

На шестом этапе при помощи свойств матриц из общей матрицы выделяем значения координат X, Y, Z, и углы альфа, бета, гамма, отражающие положение и расположение конечной матрицы относительно начальной (рис. 5).

$$\vec{\alpha} := \text{acos} \left([1 \ 0 \ 0 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.65 & 0.625 & 0.433 & 703.634 \\ 0.125 & -0.65 & 0.75 & 578.731 \\ 0.75 & -0.433 & -0.5 & 370 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) = 49.458 \text{ deg}$$

$$\vec{\beta} := \text{acos} \left([1 \ 0 \ 0 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.65 & 0.625 & 0.433 & 703.634 \\ 0.125 & -0.65 & 0.75 & 578.731 \\ 0.75 & -0.433 & -0.5 & 370 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) = 51.318 \text{ deg}$$

$$\vec{\gamma} := \text{acos} \left([0 \ 1 \ 0 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.65 & 0.625 & 0.433 & 703.634 \\ 0.125 & -0.65 & 0.75 & 578.731 \\ 0.75 & -0.433 & -0.5 & 370 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right) = 41.41 \text{ deg}$$

$$\begin{bmatrix} X0.6 \\ Y0.6 \\ Z0.6 \\ 1 \end{bmatrix} \vec{g} := \begin{bmatrix} 0.65 & 0.625 & 0.433 & 703.634 \\ 0.125 & -0.65 & 0.75 & 578.731 \\ 0.75 & -0.433 & -0.5 & 370 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 703.634 \\ 578.731 \\ 370 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Рис. 5. Пример выделения элементов общей матрицы для получения координат X, Y, Z, и углы альфа, бета, гамма, отражающие положение и расположение конечной матрицы относительно начальной

Данный метод позволяет автоматизировать расчет.

Выполнив сравнение расчетных значений координат и экспериментальных, можно определить точность позиционирования и соответственно – точность перемещений сочленений.

Таким образом, произведен расчет положения и расположения схвата робота в специальной системе координат. В результате проведенного расчета были определены значения координат положения и расположения схвата робота. Показаны пример выделения элементов общей матрицы для получения координат X , Y , Z , и углы альфа, бета, гамма, отражающие положение и расположение конечной матрицы относительно начальной.

УДК 621.791.925

ТВЕРДОСПЛАВНАЯ НАПЛАВКА ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

М. В. Невзоров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Г. В. Петришин

Рассмотрены результаты испытаний инновационного поверхностного слоя, полученного методом газопламенной наплавки порошков из отходов металлообработки. Вышеуказанный слой представляет собой восстановительное-упрочняющее покрытие, которое характеризуется высокой абразивной износостойкостью, устойчивостью к сжимающим и ударным нагрузкам, возможностью эксплуатации при повышенных температурах. Слой был изготовлен с использованием порошка в виде промышленно выпускаемого порошка ПЖРВ и отходов чугуна колотой дроби. Предназначен слой для поверхностей вкладышей бурового инструмента, применяемого в добывающей промышленности.

Ключевые слова: наплавка; скорость изнашивания, поверхность, отходы чугуна колотой дроби.

CARBIDE OVERLAYING FOR PROTECTING WORKING SURFACES OF EQUIPMENT FROM ABRASIVE WEAR

M. V. Nevzorov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Science supervisor G. V. Petrishin

The results of tests of an innovative surface layer obtained by the method of gas-flame surfacing of powders from metalworking waste are considered. The above layer, which is a restorative-strengthening coating, is characterized by high abrasive wear resistance, resistance to compressive and impact loads, and the ability to operate at elevated temperatures. The layer was made using powder in the form of commercially produced PZhRV powder and waste cast iron shot. The layer is intended for the surfaces of drilling tool inserts used in the mining industry.

Keywords: surfacing; wear rate, surface, waste of cast iron crushed shot.

Процессы, происходящие при бурении нефтяных и газовых скважин и добыче горных пород в подземных выработках, чрезвычайно сложны и трудны. Подобная ситуация обусловлена, в том числе механическими свойствами добываемого грунта или пластов горных пород, а также их неоднородным геологическим строением (обуславливающим быстрый износ бурового инструмента, используемого в добывающей про-