

СТРУКТУРА И КИНЕМАТИЧНИ УПРАВЛЯВАЩИ ФУНКЦИИ НА ДОЗИРАЩ ЛЕЯРСКИ РОБОТ FEEDMAT 3

STRUCTURE AND KINEMATIC CONTROL FUNCTIONS OF LADLING ROBOT FEEDMAT 3

СТРУКТУРА И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ ФУНКЦИИ ЛЕЯРСКИХ ДОЗИРУЮЩИХ РОБОТОВ FEEDMAT 3

Eng. Slavkov V.
“SPESIMA” GmbH, Sofia, Bulgaria
E-mail: spesima@intech.bg

Abstract: The structure of mechanical system of ladling robot FEEDMAT 3 has been introduced and well founded. The robot FEEDMAT 3 is intended for dose feeding with aluminum alloy of horizontal die-casting machines. The so called inverse kinematic problem has been solved. This problem concerns a determination of the functions on which the input parameter have been changed. These functions are necessary for the control of the target motions of the robot ladle. The priorities have been shown with respect to the others specialized robots, which are intended for the same aim.

KEYWORDS: LADLING ROBOT, STRUCTURE, INVERSE KINEMATIC

1. Увод

Манипулационните механизми са основна част на специалните и специализирани роботи [1], [2]. Тези механизми направляват точка по зададена траектория (направляващи механизми) [3], или направляват тяло по зададена траектория на характеристична точка от тялото и ориентация на тялото (преместващи механизми) [4], [5], [6].

Геометрията на целевото движение може да се постигне от самия манипулационен механизъм (роботи на фирмите BUEHLER, SNAIR, ADVANCE PRODUCT CORPORATION, TOSHIBA и др.) или посредством активно управление на двигателите (роботи COLOSIO, MBS и др.). Последните попадат в група А съгласно функционалната типология и съответната структурна класификация на леярските дозиращи роботи [7]. Основното им предимство се състои във възможността за софтуерна промяна на целевото движение на черпака вместо механична настройка при промяна на точката на наливане на стопената сплав в пресформата на леярската машина. Ето защо беше проектиран и изработен прототип на специализиран робот FEEDMAT 3 с три управляеми оси.

Определянето на стойностите на променливите входни геометрични и кинематични параметри на механизмите, като резултат на зададено движение на крайния ефектор, обикновено се отнася към т. нар. инверсна кинематика [8], [9]. Експлицитни решения могат да бъдат получени само за някои частни случаи на кинематични вериги, каквито имат повечето от използване на практика механизми [10].

В тази публикация инверсната кинематична задача се свежда до определяне на функциите, по които се променят входните параметри (положения, ъглови скорости ускорения), необходими за управление на целевите движения на черпака на работа. Освен това цел на публикацията е да се представи и обоснове структурата на механичната система на робота върху основата на функционално-структурни изследвания [7]. Предимствата на тази структура могат да се използват и при проектиране на специализирани роботи за други цели.

2. Структура на манипулационната система

Основният манипулационен механизъм на робота FEEDMAT 3 е вертикално разположен поради конкретното му предназначение да зарежда със стопена алуминиева сплав хоризонтални машини за леене под налягане. Кинематична схема на специализирания робот е представена на фиг.1. Тази схема при определени условия допуска декуплирано задвижване на звената на основната (първичната) кинематична

верига, съставена от шарнирно свързани звена: раменен лост 1, краен лост 2 и черпак 3. При това трите мотор-редуктори са монтирани към стойката.

Независимото задвижване на лост 1 се осъществява непосредствено от мотор-редуктор M1. Независимо задвижване на лост 2 от мотор-редуктор M2 може да се постигне, ако лост 2 запазва ориентацията си при неподвижен ротор на M2. Тогава ъгловата скорост $\omega_{2,0}$ на лоста 2 спрямо стойката 0 става равна на ъгловата скорост $\omega_{0,0}$ на стойката, т.е. се анулира. Въвеждайки $\omega_{2,0} = \omega_{0,0} = 0$ в предавателното отношение

$$(1) \quad i_{2,0}^{(1)} = \frac{\omega_{2,0} - \omega_{1,0}}{\omega_{0,0} - \omega_{1,0}}$$

на задвижващия механизъм (с релативна стойка 1), свързващ изходния вал на M1 с лост 2, се получава $i_{2,0}^{(1)} = 1$. Този очакван резултат, известен като „парадокс на Ferguson”, се реализира от верижна предавка с две еднакви верижни колела.

Независимото задвижване на черпака 3 от мотор-редуктор M3 може да се постигне, ако черпакът запазва ориентацията си при неподвижен ротор на M3, при което $\omega_{3,0} = \omega_{0,0} = 0$. Това се постига от две верижни предавки с предавателно отношение 1, при които три еднакви верижни колела са съосни съответно на базовия (O), междинния (C) и крайния шарнир (H) на черпака 3. Фактически се използва два пъти „парадокса на Ferguson” – при неподвижно базово верижно колело междинното запазва ориентацията си, както и крайното верижно колело, твърдо свързано с черпака.

Спазването на по-горе изведените условия за декуплираност даде възможност да се синтезира такава кинематичната схема на робота, че движенията на всяко едно от звената да зависят линейно от ротацията само на един двигател.

3. Инверсна кинематична задача

По зададена траектория τ на точка H посредством параметричните уравнения $\tau = x(t)$ и $\dot{x} = \dot{x}(t)$ и известни дължини $l_1 = \overline{OC}$ и $l_2 = \overline{CH}$ съответно на раменния и крайния лост на първичната кинематична верига за всяко положение се търсят ъглите $\varphi_{1,0}$ и $\varphi_{2,0}$, които звената 1 и 2 сключват съответно със стойката θ (фиг.2).

За решаване на тази позиционна задача може да се използва системата проекционни уравнения

$$(2) \quad \begin{aligned} x &= l_1 \cdot \cos \varphi_{1,0} + l_2 \cdot \cos \varphi_{2,0}, \\ y &= l_1 \cdot \sin \varphi_{1,0} + l_2 \cdot \sin \varphi_{2,0}, \end{aligned}$$

която е нелинейна спрямо неизвестните $\varphi_{1,0}$ и $\varphi_{2,0}$ и има двузначно решение

$$(3) \quad \varphi_{1,0} = \arcsin \frac{l_1 y \mp \sqrt{(l_1 y)^2 - r^2 (l_1^2 - x^2)}}{r^2},$$

$$(4) \quad \varphi_{2,0} = \arcsin \frac{y - l_1 \cdot \sin \varphi_{1,0}}{l_2},$$

където са въведени означенията

$$(5) \quad l = \frac{r^2 + l_1^2 - l_2^2}{2 \cdot l_1}, \quad r^2 = x^2 + y^2.$$

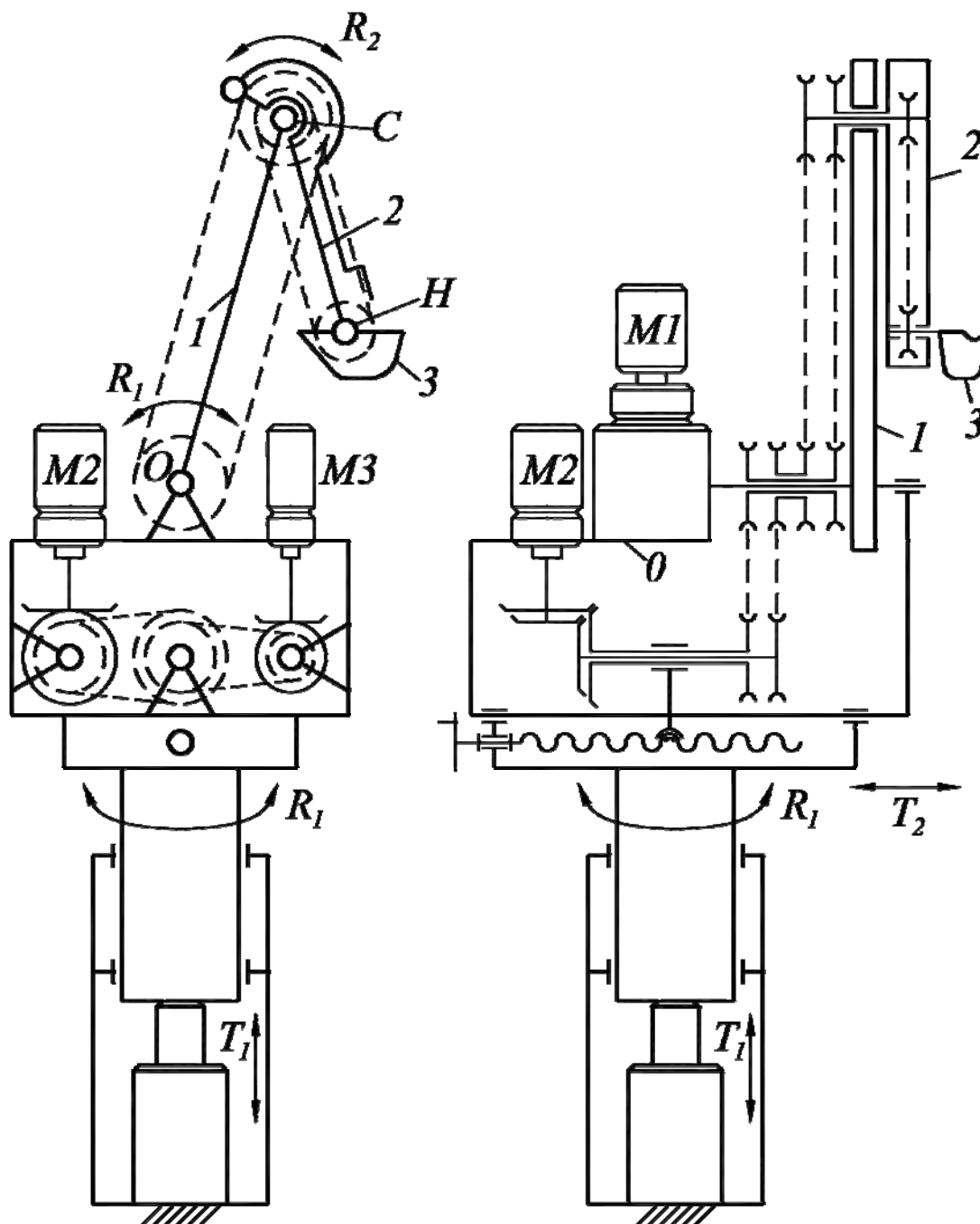
След последователно k -кратно диференциране на уравнения (2) по t се получават системи от две линейни уравнения относно $\dot{\varphi}_{1,0}$, $\dot{\varphi}_{2,0}$ (при $k=1$), относно $\ddot{\varphi}_{1,0}$, $\ddot{\varphi}_{2,0}$ (при $k=2$) и т. н. Системата уравнения има вида

$$\begin{aligned} a_k \cdot \varphi_{1,0}^{(k)} + b_k \cdot \varphi_{2,0}^{(k)} &= c_k, \\ d_k \cdot \varphi_{1,0}^{(k)} + e_k \cdot \varphi_{2,0}^{(k)} &= f_k \end{aligned}$$

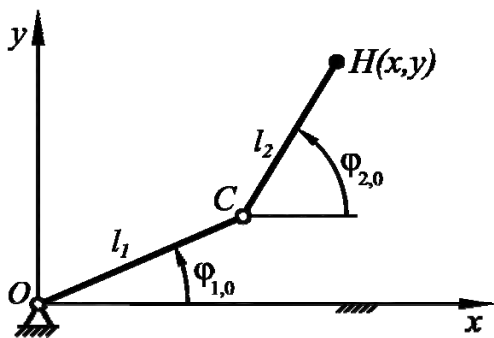
и решение

$$(6) \quad \varphi_{1,0}^{(k)} = \frac{(D_a)_k}{D}; \quad \varphi_{2,0}^{(k)} = \frac{(D_b)_k}{D}, \quad (k=1, 2, 3, \dots),$$

където



Фиг.1 Кинематична схема на дозирач леярски робот FEEDMAT 3



Фиг.2 Първична кинематична RR верига в текущо положение

$$(7) \quad D = \begin{vmatrix} -l_1 \cdot \sin \varphi_{1,0} & -l_2 \cdot \sin \varphi_{2,0} \\ l_1 \cdot \cos \varphi_{1,0} & l_2 \cdot \cos \varphi_{2,0} \end{vmatrix} = l_1 \cdot l_2 \cdot \sin(\varphi_{2,0} - \varphi_{1,0}).$$

При $k = 1$ детерминантите са

$$(8) \quad (D_a)_1 = \begin{vmatrix} \dot{x} & -l_2 \cdot \sin \varphi_{2,0}^{(k)} \\ \dot{y} & l_2 \cdot \cos \varphi_{2,0}^{(k)} \end{vmatrix}, \quad (D_b)_1 = \begin{vmatrix} -l_1 \cdot \sin \varphi_{1,0}^{(k)} & \dot{x} \\ l_1 \cdot \cos \varphi_{1,0}^{(k)} & \dot{y} \end{vmatrix}$$

При $k = 2$ детерминантите са

$$(9) \quad (D_a)_2 = \begin{vmatrix} \ddot{x} + l_1 \cdot \cos \varphi_{1,0} \cdot \dot{\varphi}_{1,0}^2 + l_2 \cdot \cos \varphi_{2,0} \cdot \dot{\varphi}_{2,0}^2 & -l_2 \cdot \sin \varphi_{2,0} \\ \ddot{y} - l_1 \cdot \sin \varphi_{1,0} \cdot \dot{\varphi}_{1,0}^2 + l_2 \cdot \sin \varphi_{2,0} \cdot \dot{\varphi}_{2,0}^2 & l_2 \cdot \cos \varphi_{2,0} \end{vmatrix},$$

$$(10) \quad (D_b)_2 = \begin{vmatrix} -l_1 \cdot \sin \varphi_{1,0} & \ddot{x} + l_1 \cdot \cos \varphi_{1,0} \cdot \dot{\varphi}_{1,0}^2 + l_2 \cdot \cos \varphi_{2,0} \cdot \dot{\varphi}_{2,0}^2 \\ l_1 \cdot \cos \varphi_{1,0} & \ddot{y} - l_1 \cdot \sin \varphi_{1,0} \cdot \dot{\varphi}_{1,0}^2 + l_2 \cdot \sin \varphi_{2,0} \cdot \dot{\varphi}_{2,0}^2 \end{vmatrix}.$$

Така е решена необходимата за управлението инверсна кинематична задача за определяне на входните ъгли параметри и техните производни (ъгливи скорости и ускорения) във функция на координатите (целевата траектория) и техните производни (скорости и ускорения) на характеристичната точка (оста) на черпака. Определените входни параметри се постигат посредством честотно управление на мотор-редукторите.

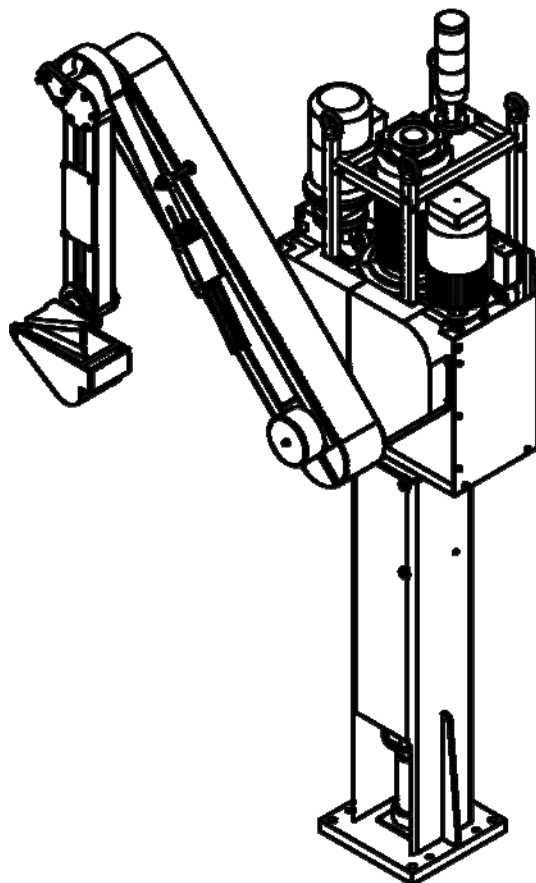
Изработеният прототип на специализирания робот FEEDMAT 3 премина успешно пробна експлоатация в леярни в България и Германия. Общият вид на робота е представен на фиг.3.

4. Заключение

Изведени са условия за декупирано задвижване на звената на манипулационната система на новия специализиран робот FEEDMAT 3, което улеснява управлението, тъй като движението на всяко едно от звената зависи линейно от ротацията само на един двигател.

Решена е т. нар. инверсна кинематична задача, при която по зададена траектория на характеристична точка на крайния ефektor (черпака на робота) са определени необходимите за управлението входни позиционни и кинематични функции на двигателите, привещащи в движение звената на тривъзнената първична кинематична верига на робота.

Основното предимство на специализирания робот FEEDMAT 3 в сравнение с други леярски роботи (на фирмите BUEHLER, SNAIR, ADVANCE PRODUCT CORPORATION, TOSHIBA и др.) се състои във възможността за софтуерна промяна на целевото движение на черпака вместо механична настройка при промяна на точката на наливане на стопената сплав в пресформата на леярската машина.



Фиг.3 Общ вид на дозирация леярски робот FEEDMAT 3

Разработването и изследването на новия специализиран робот FEEDMAT 3, изграден на принципите на мехатрониката [11], води до разкриване на нови възможности за приложение при обслужване на хоризонтални и вертикални леярски машини, машини за кокилно лееене, преси и други технологични машини.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев, Ю. Промышленные роботы (2-е изд.). Москва, *Машиностроение*, 1988, 392 с.
2. Дюлгеров, В. Роботизирани модули и системи. Техника, 1989, 270 с.
3. Артоболовский, И., Левитский, Н., Черкудинов, С. Синтез плоских механизмов. Москва, *Физматгиз*, 1959, 1084 с.
4. Suh, C., Radcliffe, C. Kinematics and Mechanisms Design. *John Wiley & Sons, Inc.*, New York, 1978, p. 434.
5. Erdman, A., Sandor, G., Mechanism Design: Analysis and Synthesis. *Prentice-Hall Inc., New Jersey, Vol. 1*, 1984, 2-nd Edition, 1991.
6. Гълъбов, В. Синтез на механизми в робототехниката. *ТУ - София*, 1992, 264 с.
7. Славков, В., Николов, Н., Гълъбов, В. Функционална типология и структурна класификация на леярски дозираци роботи. *Механика на машините*, №50, 2004, с. 64-71.
8. Erdman, A. (editor). Modern Kinematics. *John-Wiley & Sons, Inc. New York*, 1993, p. 604.
9. Angeles, J., Hornel, G., Kocs, P. Computational Kinematics. *Kluwer Academic Publishers*, 1993, p. 320.
10. Гълъбов, В. Структурно-метричен синтез на механизми. Дисертация за д. т. н., *ТУ-София*, 1998, 491 с.
11. Славков, В., Гълъбов, В. Мехатронен подход при изследване, проектиране и разработка на специализиран робот. *Автоматика и информатика*, № 4, 2005, с. 46-50.