ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.924.7

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-2/01>**Залюбовський М.Г.**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Панасюк І.В.Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій
Київського національного університету технологій та дизайну

СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ШЕСТИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ (ЧАСТИНА 2: ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ РОБОТІ МАШИНИ НА РОБОЧОМУ ХОДІ)

Для виконання галтувальних технологічних операцій обробки дрібних металевих і полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул, відділення деталей від ливників, подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії, заокруглення гострих країв тощо) використовують різні типи обладнання. Найбільш ефективним типом обладнання, що забезпечує високопродуктивну обробку деталей, є машини зі складним просторовим рухом робочих ємностей. За допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks 2016 Motion виконано 3D моделювання руху робочого масиву всередині ємності, яка виконує складний просторовий рух, із подальшим силовим дослідженням просторового шестиланкового механізму галтувальної машини. Слід відзначити, що у просторовому механізмі досліджуваної машини наявний пасивний (надлишковий) зв'язок, який може мати негативний вплив на її експлуатаційні властивості. Суть силового дослідження полягає у визначенні реакцій в усіх кінематичних парах просторового механізму машини при її роботі на робочому ході. На основі проведеного силового дослідження просторового механізму машини встановлено, що значення усіх реакцій у кінематичних парах машини при роботі її на робочому ході пропорційно збільшилися приблизно на 40–50% від значення реакцій у кінематичних парах машини при роботі її на холостому ході, максимальні значення мають радіальні складові частини реакцій, мінімальні – осьові складові. Результати досліджень дали можливість отримати «гранично допустимі» значення реакцій у кінематичних парах машини та можуть бути використані для подальшого розрахунку напружень у кінематичних парах аналогічних просторових механізмів галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємностей із метою визначення їх надійності та доцільності використання у промисловості.

Ключові слова: просторовий рух, силове дослідження, реакції, кінематична пара, робоча ємність.

Постановка проблеми. Для виконання галтувальних технологічних операцій [1, с. 145–150] обробки металевих і полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул [2, с. 24–25], відділення деталей від ливників [3, с. 120], подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії тощо) використовують «базову» конструкцію машини [4, с. 21], в якій робоча ємність виконує складний просторовий рух. У роботі [5] за допомогою САПР SolidWorks було виконано силове дослідження просторового механізму такої конструкції машини при її роботі на холостому ході, на основі якого було встановлено характер зміни реакцій у всіх обертових кінематичних парах машини,

встановлено, які з реакцій мають максимальне значення, а які – мінімальне. Однак невідомо, який характер матиме зміна реакцій у кінематичних парах машини при роботі її на робочому ході (із завантаженим робочим масивом). Також відомо [6, с. 260–262], що завантажений робочий масив під час складного просторового руху ємності створює значні інерційні навантаження на її стінки, які, відповідно, будуть передаватися й на інші рухомі ланки та кінематичні пари машини. Таке інерційне навантаження, спричинене переміщенням робочого масиву, також впливатиме на збільшення реакцій у всіх кінематичних парах просторового механізму машини. Таким чином, за допомогою САПР SolidWorks необхідно

виконати силові дослідження просторового механізму «базової» конструкції машини при її роботі на робочому ході, визначивши величину та характер зміни реакцій у всіх кінематичних парах.

Постановка завдання. Мета роботи – визначення реакцій у всіх кінематичних парах просторового шестиланкового механізму машини при її роботі на робочому ході за допомогою САПР SolidWorks.

Виклад основного матеріалу дослідження. Модель «Базової» конструкції машини із завантаженим робочим масивом [4, с. 21] представлена на рис. 1. Така конструкція є прототипом промислового змішувача «Turbula T10B», який сьогодні є в серійному виробництві швейцарської компанії «Willy A. Bachofen Group» [7]. Окрім використання як змішувача [8 с. 18–19], відоме успішне використання машини для реалізації різних гальтувальних технологічних процесів, зокрема для відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників [9, с. 28–31], а також шліфування та полірування різних дрібних полімерних деталей [10, с. 25–30].

При моделюванні руху робочого масиву ємність згідно з результатами попередніх досліджень [4, с. 155–165; 11 с. 160] заповнювали приблизно на 35% від її загального об'єму. Як робочий масив використовувалися 20 куль діаметром 0,065 м (65 мм) і масою 0,8 кг. При моделюванні елементів робочого масиву його загальну масу приймали, виходячи зі специфіки галтувальних технологічних операцій, які можна виконати на цій машині. Таким чином, загальна маса змодельованого робочого масиву відповідала масі робочого масиву, що завантажується до робочої ємності машини з аналогічними геометричними параметрами при виконанні технологічної операції відділення металевих деталей від ливників. Ведучому валу машини надавалася кутова швидкість, яка відповідає реалізації водоспадного режиму руху [6, с. 262] робочого масиву. Саме при водоспадному режимі руху робочого масиву виникає найбільше інерційне навантаження на стінки робочої ємності, що, у свою чергу, впливатиме на збільшення значень реакцій у кінематичних парах просторового механізму. Усі геометричні та конструктивні параметри цієї моделі машини, а також інші необхідні для проведення подальших досліджень дані представлені у табл. 1.

Аналогічно до [5] за допомогою САПР SolidWorks визначали зміну радіальних та осьових складників реакцій у кожній кінематичній парі просторового механізму «базової» конструкції машини за один повний оберт її ведучого валу. Схематичне зображення векторів реакцій у кіне-

матичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини представлено на рис. 2.

**Рис. 1. Модель «базової» конструкції машини,
де 1 – станина, 2 – ведучий вал, 3 – ведуча вилка,
4 – робоча сміньсть, 5 – ведена вилка,
6 – ведений вал, 7 – робочий масив**

Таблиця 1

Технічна характеристика моделі «базової» конструкцій машини	
Діаметр робочої ємності d_{PC}	0,318 м (318 мм)
Довжина (між протилежними торцями) робочої ємності l_{II}	0,342 м (342 мм)
Міжосьова відстань робочої ємності l_{PC}	0,272 м (272 мм)
Об'єм робочої ємності V_{PC}	0,0024 м ³ (24 л)
Коефіцієнт δ , що характеризує співвідношення l_{PC} / l_B	1
Масштабний коефіцієнт n	2,5
Маса завантаженого робочого масиву m	16 кг
Маса усіх рухомих деталей машини m_D	42 кг
Характеристика тіл робочого масиву	20 куль діаметром 0,065 м (65 мм) і масою 0,8 кг
Рівень заповнення ємності робочим масивом	40%
Кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{ведч.}$	3,3 с ⁻¹ (32 об/хв)
Режим руху робочого масиву	Водоспадний

Рис. 2. Схематичне зображення векторів реакцій у кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини

Було визначено реакції R в 6 обертальних кінематичних парах машини: A, B, C, D, E та F . Реакція R у кожній кінематичній парі (далі – КП) була розподілена на дві складові частини: радіальну й осьову, таким чином:

R_{AA} – осьова складова частина реакції в КП «станина – ведучий вал»;

R_{AR} – радіальна складова частина реакції в КП «станина – ведучий вал»;

R_{BA} – осьова складова частина реакції в КП «ведучий вал – ведуча вилка»;

R_{BR} – радіальна складова частина реакції в КП «ведучий вал – ведуча вилка»;

R_{CA} – осьова складова частина реакції в КП «ведуча вилка – робоча ємність»;

R_{CR} – радіальна складова частина реакції в КП «ведуча вилка – робоча ємність»;

R_{DA} – осьова складова частина реакції в КП «робоча ємність – ведена вилка»;

R_{DR} – радіальна складова частина реакції в КП «робоча ємність – ведена вилка»;

R_{EA} – осьова складова частина реакції в КП «ведена вилка – ведений вал»;

R_{ER} – радіальна складова частина реакції в КП «ведена вилка – ведений вал»;

R_{FA} – осьова складова частина реакції в КП «ведений вал – станина»;

R_{FR} – радіальна складова частина реакції в КП «ведений вал – станина».

Таким чином, на рис. 3–8 представлено графічні залежності реакцій у відповідних кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини від кута повороту ведучого валу машини при роботі машини на робочому ході (із завантаженням робочого масиву).

Рис. 3. Залежності величини радіальних реакцій R_{AR} та R_{FR} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на робочому ході

Рис. 4. Залежності величини осьових реакцій R_{AA} та R_{FA} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на робочому ході

Рис. 5. Залежності величини радіальних реакцій R_{BR} та R_{ER} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на робочому ході

Рис. 6. Залежності величини осевих реакцій R_{BA} та R_{EA} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на робочому ході

Рис. 7. Залежності величини радіальних реакцій R_{CR} та R_{DR} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на робочому ході

Рис. 8. Залежності величини осевих реакцій R_{Ca} та R_{Da} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на робочому ході

Таким чином, проаналізувавши графіки, представлені на рис. 3–8, ми встановили, що отримані криві мають значну кількість «стрибоподібних» екстремумів. Загалом виникнення «стрибоподібних» екстремумів має випадковий характер і зумовлене постійними, циклічними та випадковими зіткненнями елементів робочого масиву із внутрішніми стінками ємності.

При порівнянні отриманих результатів силового дослідження машини при її роботі на робочому ході із результатами силового дослідження на холостому ході, представленими у роботі [5], встановлено, що закономірність зміни кривих в обох випадках залишається аналогічною.

Отримані результати дослідження можуть бути використанні для подальшого розрахунку напру-

жень у кінематичних парах аналогічних просторових механізмів галузевих машин.

Висновки. Визначено реакції в усіх кінематичних парах просторового шестиланкового механізму машини при її роботі на робочому ході за допомогою САПР SolidWorks.

Значення усіх реакцій у кінематичних парах машини при роботі її на робочому ході пропорційно збільшилося приблизно на 40–50% від значення реакцій у кінематичних парах машини при роботі її на холостому ході.

Екстремуми радіальних складових частин реакцій у всіх кінематичних парах машини перевищують екстремуми відповідних осевих складових реакцій.

Список літератури:

1. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / за ред. В.П. Коновала. Хмельницький : ХНУ, 2007. 255 с.
2. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. № 2. P. 24–32.
3. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. Москва : Химия, 1988. 176 с.
4. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012. P. 311.
5. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Силове дослідження просторового механізму «базової» конструкції машини для обробки деталей (частина 1: дослідження при роботі машини на холостому ході). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія : технічні науки*. 2020. № 5. Т. 31 (70).
6. Panasyuk I., Zalyubovskiy M. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. P. 260–264.
7. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2019. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (дата відвідування: 08.08.2020).
8. Marigo M., Cairns D.L., Davies M., Ingram A., Stitt E.H. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part B: Investigation of Flow and Mixing in the Turbula® mixer. *Powder Technology*. 2011. Vol. 212. P. 17–24.

9. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємності на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2020. № 1 (142). С. 27–38.

10. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. № 2. P. 24–32.

11. Залюбовський М.Г. Панасюк І.В. Малишев В.В., Машины зі складним рухом робочих ємностей для обробки полімерних деталей : монографія. Київ : Університет «Україна», 2018. 228 с.

Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V. POWER STUDY OF THE SPATIAL SIX-LINK MECHANISM OF THE MACHINE FOR PROCESSING PARTS (PART 2: RESEARCH WHEN THE MACHINE IS RUNNING)

Various types of equipment are used to perform tumbling technological operations for processing small metal and polymer parts (grinding and polishing small parts with abrasive in the form of granules, separating parts from sprues, grinding, cleaning metal parts from corrosion products, rounding of sharp edges, etc.). The most efficient type of equipment providing high-performance processing of parts are machines with complex spatial movement of working containers. With the help of the SolidWorks 2016 Motion computer-aided design system, 3D modeling of the movement of the working mass inside the container was performed, which performs complex spatial movement, followed by a force study of the spatial six-link mechanism of the tumbler. It should be noted that in the spatial mechanism of the machine under study there is a passive (redundant) connection, which can have a negative impact on its operational properties. The essence of the force research is to determine the reactions in all kinematic pairs of the spatial mechanism of the machine during its operation at the working stroke. On the basis of the conducted power study of the spatial mechanism of the machine, it was found that the value of all reactions in the kinematic pairs of the machine, when it is working at the working stroke, proportionally increased by about 40–50% of the value of the reactions in the kinematic pairs of the machine, when it is idling, the maximum values are for the radial components of the reactions, the minimum values are for the axial components of the reactions. The research results made it possible to obtain the “maximum permissible” values of the reactions in the kinematic pairs of the machine and can be used in the further calculation of stresses in the kinematic pairs of similar spatial mechanisms of tumbling machines with complex spatial motion of working containers in order to determine their reliability and expediency of use in industry.

Key words: spatial motion, force research, reactions, kinematic pair, working capacity.