

УДК 621.9

ПАНАСЮК І.В., ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М.Г.
Київський національний університет технологій та дизайну

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ ЗМІНИ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ВЕДУЧОГО ВАЛУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СКЛАДНИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ

Мета. Встановлення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини, який забезпечує умови для якісної обробки деталей в середині робочої ємкості, що виконує складний просторовий рух.

Методика. Проведено 3D моделювання та кінематичний аналіз машини зі складним рухом робочої ємкості в САПР SolidWorks.

Результати. Визначено умови, при яких забезпечується рівність кутових прискорень ведучого та веденого валів, а також зникає різниця між значеннями повних максимальних прискорень точок А та В, що лежать на торцях робочої ємкості.

Наукова новизна. Встановлено змінно-прискорений закон кутової швидкості ведучого валу машини, реалізація якого забезпечує циклічну зміну кутових швидкостей ведучого та веденого валів, при якій їх екстремуми знаходяться в протифазі з однаковим амплітудним значенням.

Практична значимість. Отримано рівняння, що дозволяє розраховувати кутову швидкість ведучого валу машини і забезпечити умови для підвищення якості та ефективності обробки деталей в середині робочої ємкості.

Ключові слова: закон зміни кутової швидкості, робоча ємкість.

Постановка проблеми. Машину зі складним рухом робочої ємкості [1] використовують для процесів змішування сипких речовин, а також для процесів обробки деталей. При використанні машини для процесів обробки деталей, суть яких полягає у шліфуванні та поліруванні їх поверхні, необхідно забезпечити "делікатний" характер руху сипкого робочого середовища в середині робочої ємкості, унеможливити виникнення явища "удару" по поверхні оброблюваних деталей, що виникає при їх зіткненні між собою та стінками робочої ємкості.

Актуальність проблеми. При розширенні меж використання обладнання зі складним рухом робочої ємкості та можливістю його застосування не лише для змішування сипких речовин, а й для процесів обробки деталей постає проблема щодо забезпечення такого руху робочої ємкості, при якому зникає різниця між максимальними значеннями повних прискорень точок, які розташовані в центрі торців робочої ємкості, що виконана у вигляді циліндричного барабану та досягнення однакової інтенсивності обробки деталей у різних частинах робочої ємкості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз опублікованих робіт щодо забезпечення високоефективних та якісних процесів шліфування, полірування та глянцювання в середині робочої ємкості машини для обробки деталей показав, що відомі конструкції та принцип роботи приводів [2,3], за допомогою яких можливо покращити процеси обробки деталей, зменшити сили інерції, що діють на оброблюване середовище, однак, відсутня інформація про те, який саме закон зміни кутової швидкості на ведучому

валу машини повинні реалізувати відповідні конструкції приводів, в якому діапазоні повинна змінюватися кутова швидкість.

Основні результати дослідження. З результатів роботи [4] відомо, що під час роботи машини зі складним рухом робочої ємкості, схема якої представлена на рис.1, без застосування спеціального приводу виникає значна різниця між значеннями повних максимальних прискорень точок А та В, які розташовані в центрі основ робочої ємкості.

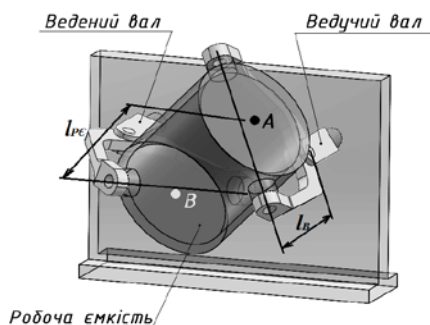


Рис.1 Схема машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості

Таким чином, частина робочої ємкості, яка розташована ближче до веденого валу машини рухається зі значним прискоренням, викликаючи нерівномірну інтенсивність обробки деталей в різних частинах робочої ємкості, виникає явище "удару" по поверхні оброблюваних виробів, що погіршує якість оздоблювально-зачищувальних операцій. Саме тому необхідно забезпечити рівність повних максимальних прискорень точок А та В, які належать робочій ємкості. Відомо [2], що зменшення різниці між максимальними значеннями повних прискорень точок А та В відбувається за рахунок забезпечення змінно-прискореного обертального закону кутової швидкості на ведучому валу машини.

Для того, щоб зрівняти між собою значення повних максимальних прискорень точок А та В робочої ємкості, необхідно забезпечити циклічну зміну кутової швидкості ведучого та веденого валів машини таким чином, щоб їх екстремуми знаходилися в протифазі з однаковим амплітудним значенням.

Встановимо необхідний змінно-прискорений закон кутової швидкості ведучого валу машини зі складним рухом робочої ємкості за допомогою САПР SolidWorks для будь-якого типорозміру однієї конструкції машини з геометричним співвідношенням:

$$\frac{l_{PC}}{l_B} = 1 \quad (1)$$

де: l_{PC} - міжосьова відстань робочої ємкості;
 l_B - міжосьова відстань вилок;

У процесі моделювання збільшували діапазон зміни кутової швидкості ведучого валу машини та паралельно спостерігали за зменшенням діапазону кутової швидкості веденого валу. Визначали момент, коли їх значення стануть рівними між собою. Для чисельного моделювання у SolidWorks середнє значення кутової швидкості ведучого валу приймали $\omega_{сер} = 6,3$ рад/с.

На рис.2 представлено набір кривих, які відображають зміну кутової швидкості веденого валу в залежності від кутової швидкості ведучого валу машини.

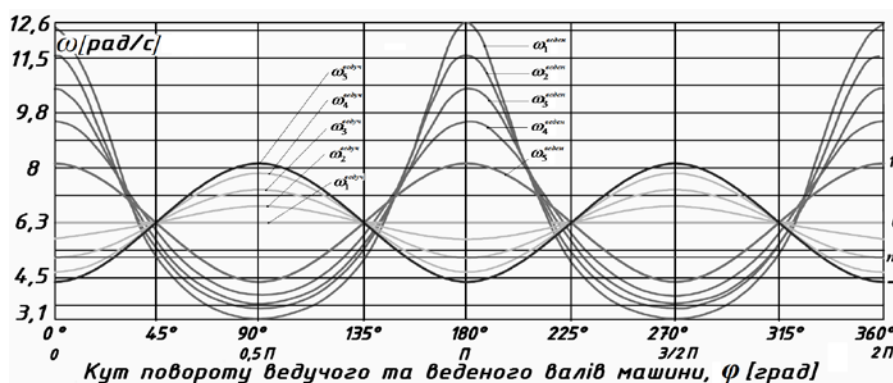


Рис.2 Залежність зміни кутової швидкості веденого валу від кута повороту валу при різних значеннях кутової швидкості ведучого валу машини

де: $\omega_1^{ведуч}$ - кутова швидкість ведучого валу, $\omega_1^{веден}$ - кутова швидкість веденого валу. Нижній індекс у вигляді цифри від 1-го до 5-ти характеризує відповідність між відповідними кутовими швидкостями, наприклад, при кутовій швидкості ведучого валу, яка подана у вигляді кривої $\omega_3^{ведуч}$ на веденому валу утворюватиметься закон кутової швидкості з відповідною кривою $\omega_3^{веден}$.

Усі криві мають синусоїдальний характер, зміщені на $\pi/2$ у від'ємному напрямі вісі абсцис, з періодом функції $T=\pi$, тобто забезпечується двохперіодний характер зміни кутової швидкості за один оберт ведучого та веденого валів [2], що є необхідною умовою щодо ефективної обробки виробів робочим середовищем. Так при постійній кутовій швидкості ведучого валу в 6,3 рад/с (на рис.2 лінія $\omega_1^{ведуч}$), значення кутової швидкості веденого валу змінювалися в діапазоні $\omega_1^{веден} = [3,1 \div 12,6]$ рад/с, максимальне значення кутового прискорення веденого валу становило $\varepsilon_1^{веден} = 84,2$ рад/с², а при реалізації змінно-прискореного обертального закону кутової швидкості на ведучому валу машини з діапазоном $\omega_5^{ведуч} = [4,2 \div 8,4]$, еквівалентним до нього став діапазон зміни кутової швидкості веденого валу $\omega_5^{веден} = [4,2 \div 8,4]$.

Граничні екстремальні значення кутових швидкостей ведучого та веденого валів, а також їх максимальні кутові прискорення представлені в таблиці.

Ведучий вал			Ведений вал	
Закон зміни кутової швидкості	Діапазон кутової швидкості, ω_{mv} , [рад/с]	Кутове прискорення, [рад/с ²]	Діапазон кутової швидкості, ω_{inv} , [рад/с]	Кутове прискор., [рад/с ²]
	$\omega_1^{ведуч} = const = 6,3$	$\varepsilon_1^{ведуч} = 0$	$\omega_1^{веден} = [3,1 \div 12,6]$	$\varepsilon_1^{веден} = 84,2$
$\omega_2^{ведуч} = \omega_{сеп} - 0,28 \sin\left(2\varphi + \frac{\pi}{2}\right)$	$\omega_2^{ведуч} = [5,8 \div 6,8]$	$\varepsilon_2^{ведуч} = 6,3$	$\omega_2^{веден} = [3,4 \div 11,5]$	$\varepsilon_2^{веден} = 66,3$
$\omega_3^{ведуч} = \omega_{сеп} - 0,56 \sin\left(2\varphi + \frac{\pi}{2}\right)$	$\omega_3^{ведуч} = [5,2 \div 7,3]$	$\varepsilon_3^{ведуч} = 12,6$	$\omega_3^{веден} = [3,7 \div 10,5]$	$\varepsilon_3^{веден} = 52,4$
$\omega_4^{ведуч} = \omega_{сеп} - 0,84 \sin\left(2\varphi + \frac{\pi}{2}\right)$	$\omega_4^{ведуч} = [4,7 \div 7,9]$	$\varepsilon_4^{ведуч} = 18,8$	$\omega_4^{веден} = [3,9 \div 9,4]$	$\varepsilon_4^{веден} = 38,2$
$\omega_5^{ведуч} = \omega_{сеп} - 1 \sin\left(2\varphi + \frac{\pi}{2}\right)$	$\omega_5^{ведуч} = [4,2 \div 8,4]$	$\varepsilon_5^{ведуч} = 25,7$	$\omega_5^{веден} = [4,2 \div 8,4]$	$\varepsilon_5^{веден} = 28,1$

Таким чином на ведучому валу машини необхідно забезпечити змінно-прискорений закон кутової швидкості, який має вигляд:

$$\omega^{\text{ведуч}} = \omega_{\text{сер}} - \omega_{\text{ампл}} \sin\left(2\varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2)$$

Де: φ - кут повороту ведучого валу машини, $\omega_{\text{ампл}}$ - це різниця по модулю між екстремумами кутової швидкості та її середнім значенням.

Закон зміни кутової швидкості веденого валу буде оберненим до закону зміни кутової швидкості ведучого валу та матиме вигляд:

$$\omega^{\text{веден}} = \omega_{\text{сер}} + \omega_{\text{ампл}} \sin\left(2\varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (3)$$

При забезпеченні змінно-прискореного закону кутової швидкості (2) на ведучому валу, кутові прискорення ведучого та веденого валів практично стали рівними між собою. Так досягнуто випадку, при якому різниця між значеннями повних максимальних прискорень точок А та В фактично зникає. Повне прискорення точки А: $a^A = 11,9 \text{ [м/с}^2\text{]}$, повне прискорення точки В: $a^B = 11,94 \text{ [м/с}^2\text{]}$. Амплітудне значення коливань кутової швидкості $\omega_{\text{ампл}}$ для її середнього значення в $\omega_{\text{сер}} = 6,3 \text{ рад/с}$ встановлюється як:

$$\omega_{\text{ампл}} = \frac{\omega_{\text{max}}^{\text{ведуч}} - \omega_{\text{min}}^{\text{ведуч}}}{2} = \frac{8,4 - 4,2}{2} = 2,1 \text{ рад/с} \quad (4)$$

Де: $\omega_{\text{max}}^{\text{ведуч}}$ та $\omega_{\text{min}}^{\text{ведуч}}$ - максимальне та мінімальне значення змінно-прискореного закону кутової швидкості при її середньому значенні $\omega_{\text{сер}} = 6,3 \text{ рад/с}$.

Визначений закон зміни кутової швидкості ведучого валу повинен реалізовуватися для будь-якого значення середньої кутової швидкості $\omega_{\text{сер}}$ шляхом застосування відповідного приводу. Тому необхідно записати вирази за допомогою яких можна визначити екстремуми змінно-прискореного закону кутової швидкості для будь-якого значення середньої кутової швидкості $\omega_{\text{сер}}$. Середнє значення кутової швидкості можна визначити як:

$$\omega_{\text{сер}} = \frac{\omega_{\text{max}}^{\text{ведуч}} + \omega_{\text{min}}^{\text{ведуч}}}{2} \quad (5)$$

Встановимо коефіцієнти, що характеризують відношення суми екстремумів необхідного змінно-прискореного закону зміни кутової швидкості до максимального та мінімального екстремумів цього ж закону кутової швидкості відповідно:

$$\frac{\omega_{\text{max}}^{\text{ведуч}} + \omega_{\text{min}}^{\text{ведуч}}}{\omega_{\text{min}}^{\text{ведуч}}} = \frac{8,4 + 4,2}{4,2} = 3 \quad (6)$$

$$\frac{\omega_{\text{max}}^{\text{ведуч}} + \omega_{\text{min}}^{\text{ведуч}}}{\omega_{\text{max}}^{\text{ведуч}}} = \frac{8,4 + 4,2}{8,4} = 1,5 \quad (7)$$

При проведенні моделювання в можливому діапазоні для реалізації $\omega_{\text{сер}}$, значення коефіцієнтів, які встановлені у виразах (6, 7), залишилися незмінними. Вони є універсальними.

Виразимо з формул (6,7), враховуючи вираз (5), значення $\omega_{\text{min}}^{\text{ведуч}}$ та $\omega_{\text{max}}^{\text{ведуч}}$ відповідно:

$$\omega_{\min}^{\text{ведуч}} = \frac{2\omega_{\text{сеп}}}{3} \quad (8)$$

$$\omega_{\max}^{\text{ведуч}} = \frac{4\omega_{\text{сеп}}}{3} \quad (9)$$

З урахуванням формули (4), вираз (2), який описує необхідний змінно-прискорений закон руху ведучого валу машини матиме вигляд:

$$\omega^{\text{ведуч}} = \omega_{\text{сеп}} - \left(\frac{\omega_{\max}^{\text{ведуч}} - \omega_{\min}^{\text{ведуч}}}{2} \right) \sin \left(2\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \quad (10)$$

Підставивши значення формул (8) та (9) у вираз (10), отримаємо:

$$\omega^{\text{ведуч}} = \omega_{\text{сеп}} - \left(\frac{\omega_{\text{сеп}}}{3} \right) \sin \left(2\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \quad (11)$$

Вираз (11) описує необхідний змінно-прискорений закон кутової швидкості ведучого валу машини і дозволяє знайти миттєві значення кутової швидкості ведучого валу.

Висновок. Отримано вираз (11), який дозволяє реалізувати циклічну зміну кутових швидкостей ведучого та веденого валів з екстремумами, що знаходяться в протифазі з однаковими амплітудними значеннями. Таким чином, зрівнюються між собою значення повних максимальних прискорень точок А та В робочої ємкості. Як наслідок, може бути досягнуто однакової інтенсивності обробки деталей по всьому об'єму робочої ємкості, що забезпечить необхідні умови для високої ефективності та якості процесів шліфування й полірування поверхні оброблюваних виробів.

Список використаних джерел

1. I. Panasyuk. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015, №3. – С. 260-264;
2. Панасюк І.В. Визначення деяких конструктивних параметрів приводу маятникового типу машини з тривимірним обертанням барабану для змішування та обробки деталей / І.В.Панасюк, М.Г.Залюбовський, Ю.В.Клапцов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2014. – №3. – С. 221-228;
3. Патент №92544, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Панасюк І.В., Залюбовський М.Г., заявник та патентовлас. Київський національний університет технологій та дизайну - №u201401841; заяв. 25.02.2014, опуб. 26.08.2014, бюл. № 16;
4. Панасюк І.В. Визначення кінематичних параметрів змішувачів з тривимірним обертанням барабану / І.В.Панасюк, М.Г.Залюбовський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2013. – №6. – С. 28-33.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВЕДУЩЕГО ВАЛА МАШИНЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧЕЙ ЕМКОСТИ

ПАНАСЮК И.В., ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М.Г.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Определение закона изменения угловой скорости ведущего вала машины, который обеспечивает условия для качественной обработки деталей в середине рабочей емкости, что выполняет сложное пространственное движение.

Методика. Проведено 3D моделирование и кинематический анализ машины со сложным движением рабочей емкости в САПР SolidWorks.

Результаты. Определены условия, при которых обеспечивается равенство угловых ускорений ведущего и ведомого валов, а также исчезает разница между значениями полных максимальных ускорений точек А и В, которые лежат на торцах рабочей емкости.

Научная новизна. Установлено переменного-ускоренный закон угловой скорости ведущего вала машины, реализация которого обеспечивает циклическое изменение угловых скоростей ведущего и ведомого валов, при котором их экстремумы находятся в противофазе с одинаковым амплитудным значением.

Практическая значимость. Получено уравнение, позволяющее рассчитывать угловую скорость ведущего вала машины и обеспечить условия для повышения качества и эффективности обработки деталей в середине рабочей емкости.

Ключевые слова: закон изменения угловой скорости, рабочая емкость.

THE DEFINITION OF THE LAW OF VARIATION OF THE ANGULAR VELOCITY OF THE DRIVE SHAFT OF THE MACHINE FOR DETAILS TREATMENT WITH COMPLEX MOVEMENT OF THE OPERATING CAPACITY

PANASJUK I.V., M.G.ZALJUBOVSKIY M.G.

Kyiv National University of Technologies and Design

The purpose. Establishment the law of variation of the angular velocity of the drive shaft of the machine that provides conditions for quality of details treatment in the middle of the working capacity which performs complex spatial motion.

The methods. It was performed 3D modeling and kinematic analysis of machines with complex movement of the working capacity in CAD software SolidWorks.

The results. It were defined conditions that provide the equality of the angular acceleration of the driving and driven shafts, and also disappears difference between the full maximum values of the accelerations of points A and B located on the ends of the working capacity.

The scientific novelty. It was installed the law of the angular velocity of the drive shaft of the machine, the implementation of which provides a cyclic change of the angular velocity of the driving and driven shafts, in which the extreme are in opposite phase with the same amplitude value.

The practical significance. It was established equation allowing to calculate the angular velocity of the drive shaft of the machine and to provide the conditions for improving the quality and efficiency of the details treatment in the middle of the operating capacity.

The keywords: the law of change of the angular velocity, the working capacity.