

УДК 621.73.016 + УДК 62.589.22

Гожій С.П., д.т.н., Кліско А.В., Ландар Р.М., Халик О.П.
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

МЕХАНІЗМ ОБКОЧУВАННЯ З ПІДВИЩЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ОРБІТАЛЬНОГО ШТАМПУВАННЯ

Godziy S., Klisko A., Landar R., Halyk O.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (k_OMD@ukr.net)

ROTARY MECHANISM WITH THE ENHANCEABLE INDEXES OF EFFICIENCY FOR ORBITAL FORGING PROCESS

Загальна ефективність виробництва залежить від застосування сучасних технологічних процесів та ефективного і технологічного обладнання. Основним показником ефективності обладнання є коефіцієнт корисної дії. Треба враховувати показники надійності, продуктивності, матеріалоемності.

Основним вузлом обладнання є механізм орбітального руху. Його робота пов'язана з виникненням і здоланням сил тертя. Якраз ця обставина суттєво впливає на корисне застосування підведеної енергії.

Існують декілька базових конструкцій орбітальних механізмів. Проведений аналіз їх роботи, визначені недоліки та шляхи їх усунення.

Мета статті полягає в створенні ефективного обладнання та обґрунтуванні проведених інновацій. Їх застосування забезпечує максимальну ефективність і продуктивність, а також мінімальну собівартість виробництва.

Стаття є результатом експериментальних та теоретичних досліджень, що проводяться на кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів Національного технічного університету України "КПІ".

Ключові слова: Орбітальне штампування, обладнання, технологічний процес, ефективність, коефіцієнт корисної дії, продуктивність, собівартість.

Вступ

Застосування методів обробки матеріалів тиском, що засновані на утворенні і переміщенні локалізованого осередку мають низку технологічних переваг перед традиційними. Реалізація цих способів можлива тільки на спеціалізованому обладнанні. Характерною рисою механізму, який утворює орбітальний рух активного інструменту є силове навантаження опорних сферичних поверхонь, що при їх відносному ковзанні вимагає енергетичних витрат на здолання контактних сил тертя. Зменшення сил тертя і відповідних робіт суттєво впливає на експлуатаційні характеристики спеціалізованого обладнання. Підвищення експлуатаційних характеристик ковальсько-штампувального обладнання є актуальною задачею, вирішення якої відповідним чином впливає на ефективність виробництва в цілому.

В конструкторській практиці створення спеціалізованого обладнання для орбітального штампування (ОШ) запроваджено декілька базових конструкцій [1, 2, 3, 4, 5], в яких, в тій чи іншій мірі, вирішується проблема підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) за рахунок зменшення роботи сил тертя в механізмі обкочування.

Метою статті є, з однієї сторони – розкриття на конкретних прикладах покрокового розвитку конструкторських рішень, а з іншої – створення механізму з поліпшеними якісними особливостями та обґрунтування нового вирішення науково-технічної проблеми.

Дослідження

Найширше промислове впровадження мають машини для ОШ, які розроблені З. Марциняком у Варшавському політехнічному інституті та мають ряд особливостей. Зокрема, вони являють собою спеціальний гідравлічний прес зусиллям 100 тс, на якому можна штампувати сталеві вироби діаметром до 80 мм [1]. Схема привода верхньої частини штампа 1, яку ще називають активним інструментом, і який робить додаткові циклічні рухи, показана на рис. 1. Повзун 3 преса пересувається вниз і передає необхідний тиск на заготовку 9, яка розташована в нерухомій частині 5 штампа. Повзун 3 рухається вниз під тиском рідини, заповнюючи порожнину між повзуном і станиною 4 преса. До повзуна 3 за допомогою обойми 2 кріпиться верхня частина 1 штампа. Завдяки тому, що опорна поверхня обойми 2 має опуклу сферичну поверхню, верхня частина 1 штампа через можливості рухів відносно нижньої, може відхилитися від вертикального положення на деякий кут 2γ . Верхня цапфа обойми 2 разом з насадженим на неї елементом 8 розміщена в отворі ексцентрика 7. Ексцентрик

7 перебуває в отворі іншого ексцентрика 6, який обертається в станині преса. Обидва ексцентрика мають незалежні приводи, причому швидкості обертання можуть бути або однаковими, або різними. Змінюючи кутову швидкість і напрямок обертання ексцентриків, можна забезпечити різні типи траєкторій руху активного інструмента.

Тиск рідини, що подається в ущільнену порожнину між обоймою 2 і повзуном 3 створює зусилля розвантаження, яке зменшує значення сил тертя та роботу на їх здолаття. Співвідношення між зусиллям розвантаження сферичної опорної поверхні і зусиллям, що утворює гідравлічний циліндр визначається діаметрами ущільнювачів. Недоліком конструкції слід вважати: - невідповідність між розмірами сферичної опори та діаметром плунжера гідроциліндру; - невизначеність ущільнення порожнини гідравлічного циліндру у верхній частині; - утворення зусилля розвантаження сферичної опори під час холостих ходів; - виникнення моменту між технологічним зусиллям, яке прикладене ексцентрично і зусиллям розвантаження, яке спрямоване вздовж осі пристрою.

Практичне втілення ідей, вкладених у конструкцію описаного вище пристрою, знайшло в пресах моделей РХW-100 та РХW-200, що серійно випускаються підприємством Fabryka Pres Automaticznych (ПНП), в пресах моделей Т200, Т400, Т630 фірми "Heinrich Schmid Maschinen- und Werkzeugbau AG" (SCHMID™) (Швейцарія).

З метою усунення недоліків та підвищення ККД за керівництвом проф. Кривди Л.Т. розроблений механізм, в якому сферична опора має гідростатичний підшипник у вигляді кільцевої ущільненої порожнини, що розташована у сферичній опорі і гідравлічно сполучена з порожниною силового циліндра осевого навантаження. Таким чином забезпечується утворення зусилля розвантаження. При цьому можливе гідравлічне відокремлення сферичної опори від порожнини силового гідравлічного циліндру під час холостих ходів з одночасним примусовим прокачуванням охолоджуючої рідини. Ще одним елементом, що ефективно впливає на підвищення ККД, є застосування безтрансмійної передачі [2, 3, 4, 5].

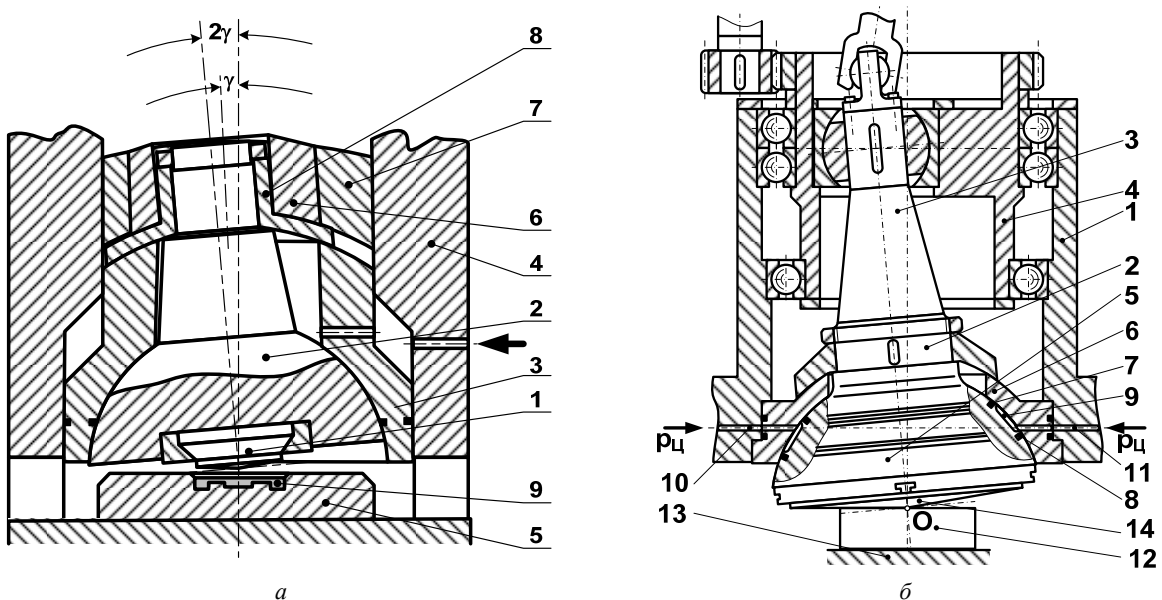


Рис. 1. Схеми механізмів орбітального руху інструменту конструкції З. Марціняка (а) та конструкції з розміщення порожнини гідростатичного підшипника безпосередньо в сферичній частині пресувача (б)

Ідея механізму схематично інтерпретується рис. 2, а. Механізм орбітального руху включає в себе напівсферичну опору 1, встановлену в рухомій системі преса з розвинутими по довжині направляючими. Опора виконана як гідростатичний підшипник, робоча порожнина якого сполучається з циліндром осевого навантаження (на рисунку не показаний). Таким чином забезпечується постійність коефіцієнта розвантаження і, як наслідок, незмінність питомих контактних зусиль в опорі 1, що охоплює сферичну головку пресувача 2, на торці якого розміщується активний інструмент. Стержневе водило пресувача на шарнірному підшипнику 3 закріплене в ексцентриковому роторі 4. Безпосередньо на ексцентриковому роторі розміщується короткозамкнений ротор 5 приводного багатополосного електродвигуна, статор 6 якого закріплений в тій же рухомій системі, що і опора 1. Водило пресувача з'єднане через шарнірний вал 7 (ДК) з гальмом 8, що забезпечує, в разі необхідності, гальмування пресувача і активного інструменту від осевого обертання. Ущільнювачі 9 утворюють в сферичній опорі 1 кільцеву в плані порожнину 10 гідростатичного підшипника (див. рис. 2, б).

Запропонований механізм покладений в основу спеціалізованого пресу моделі ПСШО-500, що розроблений для потреб ковальського заводу КамАЗ. Перевагою запропонованої конструкції є максимальне спрощення трансмісійних ланцюгів привода, що разом з гідростатичним розвантаженням опори від моменту тертя сприяє підвищенню ККД, спрощенню конструкції машини та зниженню її металоємності.

Ефективність роботи механізму залежить від оптимальних розмірів конструктивних елементів та їх співвідношень. Зокрема, основним елементом осцилятора є сферична опора пресувача. З однієї сторони, її радіус r (див. рис. 2, б) повинен бути достатньо великим для сприйняття значних питомих зусиль, які виникають від дії технологічного навантаження, що впливає на роботоспроможність обладнання. А з другої, радіус r повинен бути мінімальним, так як від його розміру прямопропорційно залежить величина моменту сил тертя в опорі, що впливає на показники ефективності. Для оптимізації був проведений аналіз роботи та зусиль, що діють в механізмі в залежності від умов технологічного навантаження [3, 4, 5].

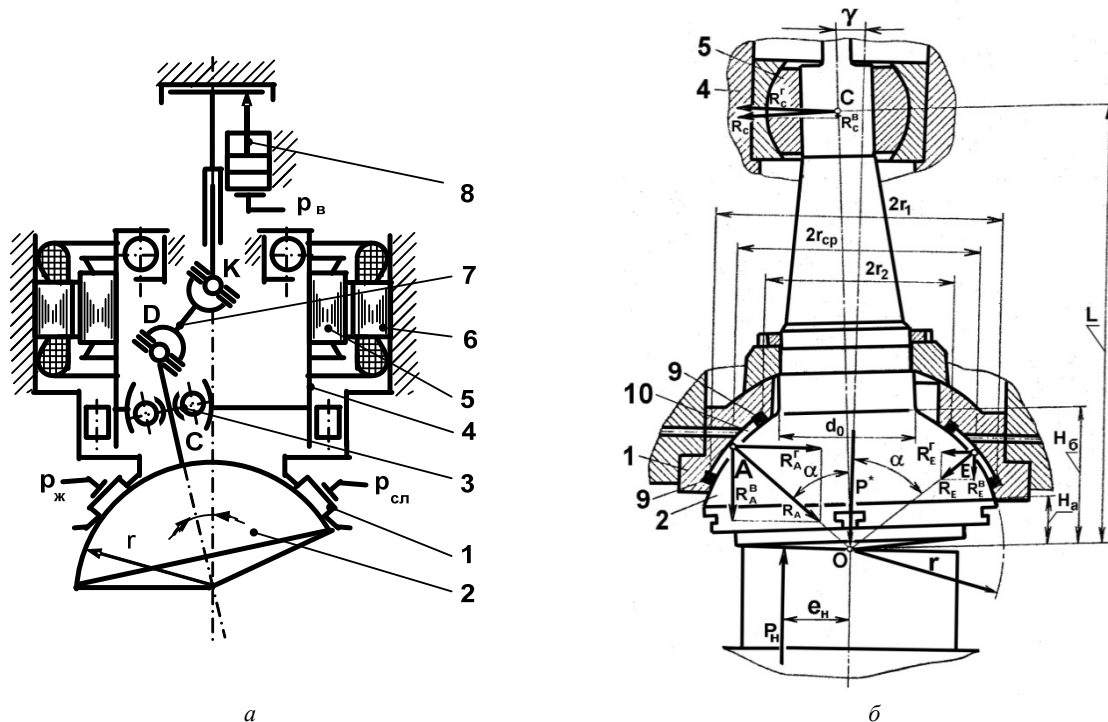


Рис. 2. Кінематична схема механізму орбітального руху інструменту конструкції проф. Кривди Л.Т. (а) та його конструктивна схема з прикладанням зусиль та реакцій (б)

Для визначення оптимальних розмірів складено вісім нелінійних рівнянь відносно восьми невідомих, серед яких основними є:

- радіус сферичної опори пресувача (r);
- кільцева площа порожнини розвантаження (обмежена радіусами r_1, r_2);
- коефіцієнт розвантаження;
- діаметр основи стрижневої частини пресувача (d_0) та ін.

Визначення числових значень параметрів механізму, які характеризують оптимальні величини цих невідомих, являється трудомістким через значні обсяги обчислень. Для виконання цього завдання розроблена блок-схема алгоритму розрахунку параметрів осцилятора та складене і апробоване програмне забезпечення.

Розрахунок основних параметрів для різних варіантів механічних властивостей матеріалу пресувача та при різних значеннях ексцентриситету прикладання технологічного зусилля e_H , який вираховується у відповідності до типу деталі, що штампується: дискова, фланцева чи кільцева.

За результатами розрахунків побудовані залежності, які відображають величину допустимих зусиль, що діють на пресувач від ексцентриситету прикладання рівнодіючої технологічного навантаження e_H (див. рис. 3). На графіку відображено максимальний ексцентриситет при номінальному зусиллі, що відповідає обробці циліндричної деталі та максимально допустимому розміру деталі при обробці на цьому обладнанні, але за умови відповідного зниження технологічного зусилля. Необхідно відзначити, що побудова графіку допустимих зусиль на пресувачі у відповідності до його міцності в залежності від ексцентриситету прикладання технологічного зусилля була введена в практику розрахунку вперше і є важливою характеристикою спеціалізованого обладнання [5].

Розрахунки показують, що з ростом ексцентриситету e_H зростає потужність приводу та розміри пресувача. Але при цьому ККД залишається не змінним, що пояснюється використанням безтрансмійного приводу та системою гідравлічного розвантаження сферичної опори пресувача від моменту тертя. При цьому розрахунковий ККД орбітального механізму досягає значень 62%, що вище параметрів машин [1], які знаходяться в межах 40...50%.

Недоліком описаної конструкції є те, що технологічне зусилля (P_T) спрямоване ексцентрично до вертикальної осі пристрою, а P_{PB} у напрямку вздовж вертикальної осі (див. рис. 4, а). Тому виникає момент, який

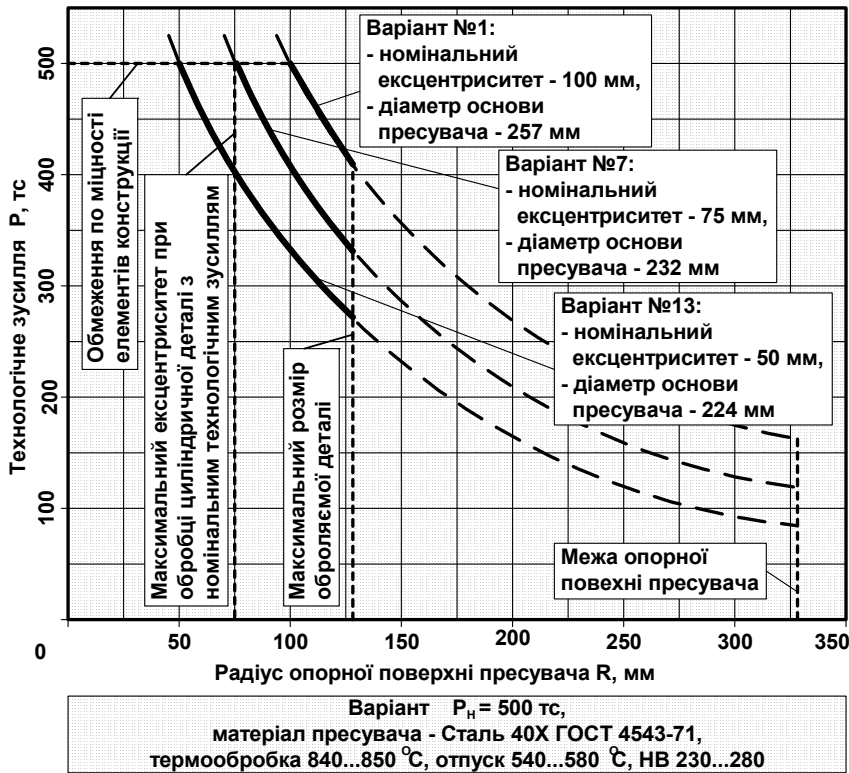


Рис. 3. Графік допустимих зусиль на пресувачі у відповідності до його міцності при різному ексцентриситеті прикладання технологічного зусилля на опорній поверхні пресувача

9 через отвори 10 та 11 сполучена з циліндром механізму осьового навантаження, від якої подається рідина під тиском $p_{ц}$. Деталь 12 встановлюється на штампі 13. На пресувачі 2 встановлений інструмент 14, який обточуючись по поверхні деталі 12 відносно центру O деформує її. Технологічне зусилля P_T прикладається в точці T , яка є центром тяжіння плями контакту між деталлю 12 і інструментом 14.

Ефективність роботи пристрою видно з аналізу спрощених схем навантаження та реакцій.

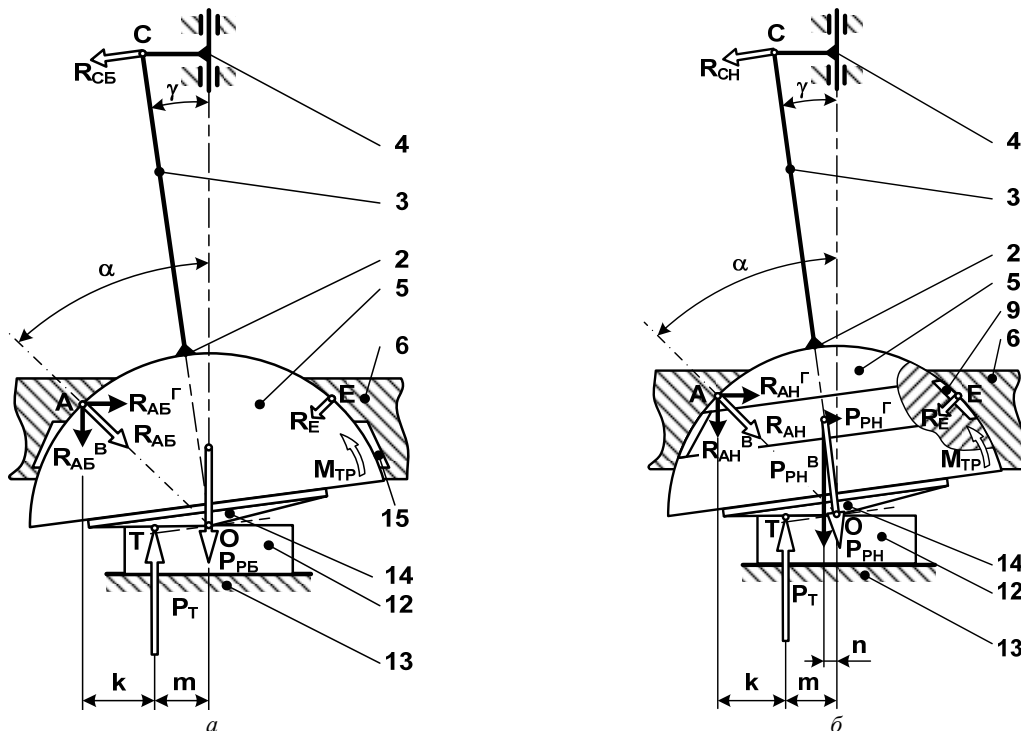


Рис. 4. Спрощені схеми навантаження опори пресувача за базовою (а) та новою (б) конструкцією

не дозволяє повністю розвантажити сферичну опору. І решта технологічного зусилля сприймається безпосередньо сферичною опорою, що впливає на потужність та ККД приводу.

Зменшити M_{TP} у сферичній опорі можливо перенесенням розташування порожнини гідростатичного підшипника на сферичну головку.

Конструктивно пристрій включає в себе механізм, який змонтований в станині 1 (рис. 1, а). Механізм утворений із пресувача 2, складеного з двох невід'ємних частин - з водила 3, що шарнірно зв'язане з приводним ексцентриковим ротором 4, та з сферичною головкою 5, що спирається на сферичну опору 6. Між головкою 5 та опорою 6 утворена система гідростатичного розвантаження у вигляді ущільненої, за допомогою ущільнювачів 7 та 8, кільцевої порожнини 9, яка виконана в сферичній опорі 6. Порожнина

На рис. 4,а наведено схему прикладання сил та реакцій в конструкції по рис. 2, б, яка розглядається як база (позначення з індексом Б), де:

- P_{PB} – зусилля розвантаження;
- R_{AB}^{Γ} – приведена рівнодіюча реакції опори до точки А;
- R_{AB}^{Γ} – горизонтальна складова R_{AB} ;
- R_{AB}^B – вертикальна складова R_{AB} ;
- R_E – приведена рівнодіюча реакції опори до точки Е;
- R_{CB} – приведена рівнодіюча реакції опори до точки С;
- α – кут дії рівнодіючої реакції опори в точках А і Е;
- γ – кут нахилу осі пресувача 2;
- m – ексцентриситет прикладання технологічного зусилля P_T ;
- $k+m$ – відстань між вертикальною віссю пристрою до точки А.

Для ефективної роботи пристрою необхідно виконання умови $R_E = \min$. З іншої сторони R_E не повинно бути спрямоване від центра О, оскільки в такому випадку пройде відривання сферичної головки 5 від сферичної опори 6 і розуцілення порожнини 15. Тому оптимальним значенням є $R_E = 0$. Ці тлумачення діють як для базового так і запропонованого (нового) варіантів пристрою.

Так як порожнина 15 виконана співвісно до вертикальної осі, зусилля розвантаження P_{PB} також буде співвісне до неї і буде проходити через центр обкочування О. Точкою прикладання P_{PB} є перетин вертикальної осі з перпендикулярною до неї площиною, що проходить через середній діаметр кільцевої порожнини 15.

Визначення співвідношень трьох вертикальних сил P_T , P_{PB} та R_{AB}^B із рівнянь рівноваги показує, що

$$P_{PB} = P_T \frac{k}{k+m}, \quad (1)$$

$$R_{AB}^B = P_T \frac{m}{k+m}. \quad (2)$$

На рис. 4,б наведено схему прикладання сил та реакцій в запропонованій конструкції (позначення з індексом Н), де:

- P_{PH} – зусилля розвантаження;
- P_{PH}^{Γ} – горизонтальна складова P_{PH} ;
- P_{PH}^B – вертикальна складова P_{PH} ;
- R_{AH}^{Γ} – приведена рівнодіюча реакції опори до точки А;
- R_{AH}^{Γ} – горизонтальна складова R_{AH} ;
- R_{AH}^B – вертикальна складова R_{AH} ;
- R_{CH} – приведена рівнодіюча реакції опори до точки С;
- $m-n$ – ексцентриситет прикладання вертикальної складової P_{PH} відносно P_T .

Оскільки порожнина 9 виконана співвісно до осі пресувача 2, зусилля розвантаження P_{PH} також буде співвісне до неї і буде проходити через центр обкочування О. Точкою прикладання P_{PH} є перетин осі пресувача 2 з перпендикулярною до неї площиною, що проходить через середній діаметр кільцевої порожнини 9.

Визначення співвідношень трьох вертикальних сил P_T , P_{PH}^B та R_{AH}^B із рівнянь рівноваги показує, що

$$P_{PH}^B = P_T \frac{k}{k+m-n}, \quad (3)$$

$$R_{AH}^B = P_T \frac{m-n}{k+m-n}. \quad (4)$$

Порівнюючи (1) з (3) та (2) з (4), маємо, що $P_{PB} < P_{PH}^B$ та $R_{AB}^B > R_{AH}^B$. Тобто для запропонованого пристрою зросло зусилля гідростатичного розвантаження, а реакція, що сприймається безпосереднім контактом сферичної опори 6 і сферичної головки 5 зменшилась, а значить зменшився і момент тертя.

Висновки

Таким чином, запропонована конструкція без додаткових витрат дозволяє зменшити момент тертя M_{TP} в сферичній опорі чим досягається підвищення ККД і покращення економічних та експлуатаційних характеристик пристрою. Розрахункове значення ККД приводу механізму обкочування підвищується на 5...7%, що визначено за допомогою створеного програмного забезпечення. Проводяться пошукові науково-дослідні роботи щодо подальшого розвитку оптимальної конструкції орбітального механізму.

Кафедра механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ “КПІ” володіє згаданим програмним забезпеченням та конструкторською документацією на механізм орбітального руху, включаючи нестандартний багатополісний двигун потужністю 285 кВт, що входить до складу механізму, та відкрита до співпраці щодо налагодження виробництва спеціалізованого обладнання.

Аннотация. Общая эффективность производства зависит от использования современных технологических процессов и эффективного технологического оборудования. Основным показателем эффективности оборудования является коэффициент полезного действия. Необходимо учитывать характеристики надежности и производительности.

Основным узлом оборудования является механизм орбитального движения. Его работа протекает с возникновением и преодолением сил трения. Это обстоятельство существенно влияет на полезное использование энергии.

Существуют несколько базовых конструкций орбитальных механизмов. Проведен анализ их работы, определены недостатки и пути их устранения.

Цель статьи состоит в создании эффективного оборудования и обосновании предложенных инноваций. Их использование обеспечивает максимальную эффективность и надежность, а также минимальную себестоимость производства.

Статья является результатом экспериментальных и теоретических исследований, которые выполняются на кафедре механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов Национального технического университета Украины «КПИ».

Ключевые слова: Сферодвижная штамповка, оборудование, технологический процесс, эффективность, коэффициент полезного действия, производительность, себестоимость.

Summary. General efficiency of production depends on the use of modern technological processes and effective technological equipment. The basic index of efficiency of equipment is an output-input ratio. It is necessary to take into account descriptions of reliability and productivity.

The basic knot of equipment is a mechanism of orbital motion. His work flows with an origin and overcoming of forces of friction. His work flows with an origin and overcoming of forces of friction. This circumstance substantially influences on the useful use of energy.

There are a few base constructions of orbital mechanisms. The analysis of their work is conducted, failings and ways of their removal are certain.

The purpose of the article consists of creation of effective equipment and ground of the offered innovations. Their use provides maximal efficiency and reliability, and also minimum production cost.

The article is the result of experimental and theoretical researches which are conducted on the department of mechanics of plasticity of materials and resource-safe processes of the National technical university of Ukraine «KPI».

Keywords: Rotary forging, equipment, technological process, deformation, efficiency, productivity, cost.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Марциняк З. Холодная объемная штамповка методом обкатки // З. Марциняк; Кузнечно-штамповочное производство. 1970. - №9. - С. 18-20.
2. А.с. 889219 СССР, МКИ В 21 D 37/12. Машина для сферодвижной штамповки. / Л.Т. Кривда Л.Т., А.С. Пшенишнюк А.С. (СССР) - № 2627441/25-27; Заявлено 12.06.78; Опубл. 15.12.81, Бюл. №46 – 3с.
3. А.с. 1650308 СССР, МКИ В 21 D 37/12. Машина для сферодвижной штамповки / Л.Т. Кривда, С.П. Гожий (СССР). - № 4626613/27; Заявлено 27.12.88; Опубл. 23.05.91, Бюл. №19 – 6 с.
4. Кривда Л.Т. Безтрансмiсiйний осцилятор преса для штампування обкочуванням. // Л.Т. Кривда, С.П. Гожій; Технологические системы. – №2 (18). – 2003. – С. 84..89.
5. Кривда Л.Т. Числовий розрахунок без трансмісiйного осцилятора пресу для штампування обкоченням. // Л.Т. Кривда, С.П. Гожій; Технологические системы. – 2006. -№ 1(33). – С. 58...61.

References

1. Marcinjak Z. Cold forging method of the orbital forging. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. [Forging and stamping production], 1970, no 9, pp. 18-20.
2. Krivda L.T., Pshenishnjuk A.S. Mashina dlja sferodvizhnoj shtampovki. [Machine for orbital forging]. A.s. 889219 SSSR, MKI B 21 D 37/12 (SSSR), no 2627441/25-27; Zajavleno 12.06.78; Opubl. 15.12.81, Bjul. no 46, p. 3.
3. Krivda L.T., Gozhij S.P. Mashina dlja sferodvizhnoj shtampovki. [Machine for orbital forging]. A.s. 1650308 SSSR, MKI B 21 D 37/12 (SSSR), no 4626613/27; Zajavleno 27.12.88; Opubl. 23.05.91, Bjul. no 19, p. 6.
4. Krivda L.T., Gozhij S.P. No transmission oscillator of press for orbital forging. Tehnologicheskie sistemy. [Technological systems]. no 2 (18), 2003, pp. 84-89.
5. Krivda L.T., Gozhij S.P. Numerical calculation without transmission oscillator of press for orbital forging. Tehnologicheskie sistemy. [Technological systems]. 2006, no 1(33), pp. 58-61.