

УДОСКОНАЛЕННЯ МАХОВИЧНОГО ПРИВОДА ШТАМПУВАЛЬНОГО КРИВОШИПНОГО УСТАТКУВАННЯ

В.С. Запорожченко, канд. техн. наук, доцент;

А.В. Запорожченко, студентка,

Сумський державний університет, м. Суми

Статья посвящена улучшению структуры привода штамповочного кривошипного оборудования и усовершенствованию конструкции маховика в этом приводе, рассмотрению теоретических вопросов работы такого усовершенствованного привода кривошипных машин.

Ключевые слова: *штамповочное оборудование, кривошипный пресс, кривошипная машина, маховичный привод, витой маховик, гибкий элемент, лента, проволока, волокно, момент инерции, угловая скорость*

Статтю присвячено покращанню структури привода штампувального кривошипного устаткування та вдосконаленню конструкції маховика у цьому приводі, розгляду теоретичних питань роботи такого удосконаленого привода кривошипних машин.

Ключові слова: *штампувальне устаткування, кривошипний прес, кривошипна машина, маховичний привод, витий маховик, гнучкий елемент, стрічка, дріт, волокно, момент інерції, кутова швидкість.*

ВСТУП

Обробка металів тиском (ОМТ) належить до найбільш прогресивних технологічних процесів у сучасному виробництві, адже йому притаманні такі позитивні риси, як висока продуктивність, що часто становить 30-60 штампованих деталей на хвилину, добра якість поверхні та точність розмірів, мінімальні витрати матеріалу і підвищені механічні властивості штампованих виробів, можливість широкої автоматизації та механізації технологічних процесів. Обробка тиском дозволяє отримувати деталі й заготовки певної форми за рахунок пластичної деформації металу у холодному чи гарячому стані без зняття стружки, коли змінюється структура останнього і підвищуються механічні властивості. Тому найбільш навантажені деталі машин виготовляються саме обробкою тиском. Такі сучасні вироби, як автомобіль, трактор, комбайн або літак, вміщують за масою від 60 до 85% штампованих деталей [1].

Устаткування для ОМТ характеризується значними зусиллями та витратами енергії під час робочого ходу. Воно поділяється на 5 основних класів ковальсько-штампувальних машин, а саме: механічні, гвинтові та гідравлічні преси, молоти, ротаційні машини, імпульсні пристрої і стани [2]. Найбільш поширеними з цих класів є механічні преси з кривошипним чи кулачковим приводом, частка яких становить близько 60% усього парку технологічного обладнання. Кривошипні преси здійснюють штампування з великою швидкістю, мають достатньо високий коефіцієнт корисної дії, економічні та надійні у роботі, зручні у налагодженні та обслуговуванні, відповідають вимогам техніки безпеки, ергономіки й екології. Кривошипні преси (машини) використовуються для листового штампування, холодного й гарячого об'ємного штампування, розподілу матеріалів, а також пресування порошкових мас, і залежно від призначення можуть бути універсальними, спеціалізованими та спеціальними. Універсальні кривошипні преси встановлені в усіх штампувальних цехах державних та приватних підприємств. До спеціалізованих кривошипних машин належать

кривошипні ножиці для розподілу листового й сортового металу (прокату), горизонтально-кувальні машини (ГКМ), горизонтально-згинальні машини (ГГМ), радіально-обтискні машини та ін. Спеціальні кривошипні машини становлять велику групу ковальсько-штампувальних автоматів для об'ємного і листового штампування, які оснащені пристроями або промисловими роботами для автоматичної подачі й передачі заготовок між переходами технологічного процесу та видалення готових виробів. Таким чином, удосконалення конструкції машин цього великого класу ковальсько-штампувального устаткування є соціально та економічно доцільним у нашій незалежній державі.

Структура сучасної кривошипної машини достатньо складна, оскільки конструкція містить у собі більше десяти вузлів і кількості деталей. Головний привод кривошипної машини, як правило, складається з асинхронного електродвигуна змінного струму, клинопасової передачі, монолітного (суцільного) маховика, фрикційних муфти та гальма, однієї чи кількох зубчастих передач і приймального та проміжних валів [3]

Технологічні процеси ОМТ визначаються великими питомими зусиллями опору деформування матеріалів та значними витратами енергії, які мають короткочасний, або так званий піковий характер. Тому у складі приводу кривошипних машин передбачений акумулятор кінетичної енергії у вигляді маховика, встановленого на приймальному валу кривошипної машини і зв'язаного клинопасовою передачею з асинхронним електродвигуном. Застосування маховика дозволяє в 6–10 разів зменшити установчу потужність електродвигуна.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Найбільш недосконалою ланкою у приводі сучасної кривошипної машини є саме маховик, який зазвичай виготовляється способом лиття з чавуну або сталі з канавками на зовнішній циліндричній поверхні під клинові паси клинопасової передачі. Кількість обертів маховика обмежена через можливість його розриву, коли лінійна швидкість крайніх точок обода перевищує допустимі значення. Для чавунних маховиків величина критичної швидкості становить 15 м/с, а для сталевих – 25 м/с. Тому кількість обертів маховика не перевищує 400–450 за хвилину [4]. Оскільки величина кінетичної енергії, яку накопичує маховик під час роботи привода, дорівнює

$$W_m = \frac{I_m \cdot \omega_m^2}{2},$$

де I_m - момент інерції маховика;
 ω_m - кутова швидкість обертання маховика:

$$\omega_m = \frac{[V]}{R_m},$$

де R_m - зовнішній радіус маховика, то при незначній кутовій швидкості обертання, що обмежена допустимою (критичною) лінійною швидкістю [V], доводиться збільшувати момент інерції і, відповідно, масу маховика для зростання його запасу кінетичної енергії. Актуальним є завдання вдосконалення конструкції маховика з метою збільшення допустимої швидкості його обертання та запасу кінетичної енергії, що дозволить зменшити установчу потужність електричного двигуна або підвищити енергоспроможність кривошипного устаткування.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

У Кіровоградському національному технічному університеті [5] почато, а в Сумському державному університеті [6] продовжено науково-дослідну роботу, спрямовану на поліпшення енергетичних параметрів кривошипного устаткування, зміну структури його привода та вдосконалення конструкції маховика. Запропоновано виготовити маховик не суцільним, а витим зі стрічки чи дроту і розмістити його на приймальному валу, співвісно валу електричного двигуна. На таке технічне рішення отримано патент України № 30037.

Запропонований привод кривошипного преса (рис. 1) складається з електричного двигуна 1, з'єднувальної муфти 2, приймального вала 3, розміщеного в підшипникових вузлах 4 зі встановленим на ньому витим маховиком 5, а також зубчастої передачі, яка містить шестерню 6 та зубчасте колесо 7. У зубчасте колесо вмонтовано систему вмикання 8 преса, що складається з муфти й гальма. З'єднувальна муфта 2 єднає встановлені співвісно вал електродвигуна 1 і приймальний вал 3, а також запобігає перенавантаженню електродвигуна, тобто є запобіжним пристроєм. Зубчасте колесо 7 встановлено на головному (кривошипному) валу 9, який поєднано шатуном 10 з повзуном преса (на кінематичній схемі останній не показано).

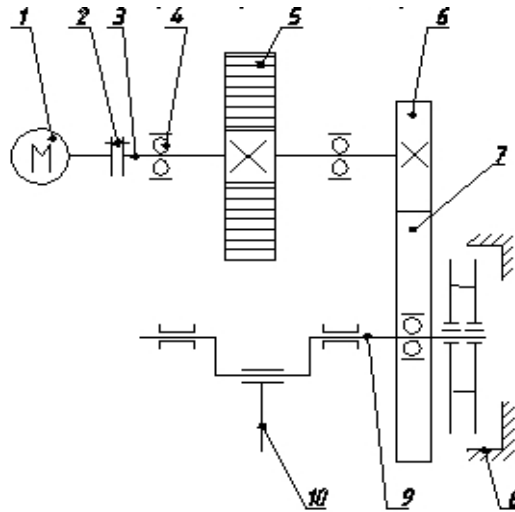


Рисунок 1 – Кінематична схема привода кривошипної машини з витим маховиком

У маховику 5 як гнучкий елемент для навивання обода використовуються високоміцна стрічка, дріт або волокна. Маховик встановлено в захисному кожусі (на кресленнях умовно не зображено). Площа поперечного перерізу високоміцного гнучкого елемента може бути сталою чи пропорційною квадрату його відстані від осі обертання. Нижній кінець високоміцної стрічки 11, із якої навито маховик, закріплено на несучому центрі 12 (рис. 2), а коли обод маховика виконано із високоміцного дроту 13, то його навито на несучий центр зі щокми 14 (рис. 3). Ці несучі центри закріплено на приймальному валу 3 будь-яким відомим засобом (за допомогою шпонки, шліців, посадки з натягом та інше).

Виконання обода маховика з навитою високоміцною гнучкою стрічки або дроту зумовлене тим, що максимальну міцність метал має саме у вигляді стрічки чи дроту. Стрічка або дріт завдяки їх внутрішній структурі, яка

утворена холодним прокатуванням чи волочінням, мають міцність значно вищу від міцності початкового монолітного матеріалу. Наприклад, монолітний метал зі сталі 45 має межу міцності при розтяганні 580 МПа, а стрічка товщиною 1–4 мм, яку виготовлено з того самого металу, – до 700 МПа. Межа міцності дроту зі сталі 45 досягає 1100 МПа.

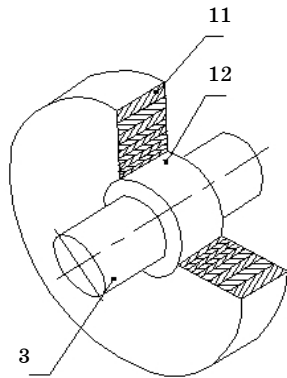


Рисунок 2 – Схематичне зображення витого маховика зі стрічки

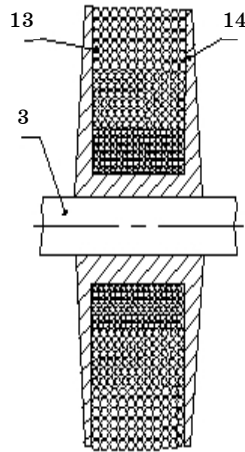


Рисунок 3 – Поздовжній переріз витого маховика з дроту

Витки стрічки скріплені між собою будь-яким засобом, що не зменшує міцності стрічки, наприклад, склеєні. Клей мусить бути достатньо еластичним для того, щоб заповнити собою зазори між витками стрічки, які утворюються під час обертання маховика за рахунок неоднакового розширення витків різного діаметра. Можливе також бандажування обода маховика шляхом навивання одного – двох шарів достатньо міцного тонкого дроту, що перевершує за міцністю стрічку, поверх останнього її витка.

У маховику, обод якого виконано із дроту, усі витки також повинні бути скріплені між собою будь-яким засобом, що не зменшує їх міцності. Як правило, витки з'єднуються між собою за допомогою клею, а останній виток прикріплено до несучого центра /котушки/, наприклад зварюванням.

Уникнути розшарування витків або дроту можливо шляхом підкладання під внутрішні витки ободу баласту у вигляді масивних підкладок, наприклад сталевих чи свинцевих, що мають форму секторів, накладок чи тягарів. Під час обертання маховика баласт притискає внутрішні витки до зовнішніх витків за рахунок дії відцентрових сил і перешкоджає розшаруванню обода. Крім того, можливо навивання гнучкого елемента на несучий центр з натягом. У цьому разі клей не застосовується, оскільки за рахунок натягу забезпечується щільна посадка витків один на одній. Цей натяг створюється, коли гнучкий сталевий елемент накручується в нагрітому стані, що при подальшому охолодженні призводить до зменшення діаметра витків і отримання попередньо напруженого з'єднання.

Запропонований привод працює таким чином. Від електричного двигуна 1 через з'єднувальну муфту 2 обертання передається маховику 5, розміщеному на приймальному валу 3 та шестерні 6, яка знаходиться в зачепленні із зубчастим колесом 7, вільно встановленим на головному валу 9. Під час вмикання муфти кривошипного преса відбувається

з'єднання зубчастого колеса 7 з головним валом 9. Вал 9 обертається і через шатун 10 приводить до зворотно-поступального руху повзун. При вимиканні муфти відбувається роз'єднання зубчастого колеса 7 з головним валом 9 і одночасне гальмування обертання вала та інших ведених деталей привода. Під час вистоювання повзуна у крайньому верхньому положенні і його холостого ходу вниз електричний двигун 1 розганяє маховик 5, коли останній завдяки збільшенню швидкості обертання накопичує значний запас кінетичної енергії. При робочому ході, коли опір деформованого металу різко зростає, швидкість обертання привода починає знижуватися. Інерція маховика 5 намагається підтримувати її постійною. При цьому маховик 5 віддає частину своєї кінетичної енергії і допомагає електричному двигуну 1 долати збільшений опір переміщенню повзуна вниз. Після закінчення робочого ходу електричний двигун 1 знову розганяє маховик 5 до попередньої швидкості і відновлює запас його кінетичної енергії, який було віддано під час робочого ходу на виконання технологічної операції. Таким чином, корисна робота деформації металу виконується пресом не тільки за рахунок роботи електричного двигуна в цей період, але й за рахунок частини кінетичної енергії, накопиченої маховиком під час холостого ходу і відданої при робочому ході повзуна преса. Маховик згладжує піки навантаження, які виникають під час штампування і сприймаються електродвигуном, що значно полегшує умови роботи останнього.

Нова конструкція маховика з ободом, накрученим із високоміцного гнучкого елемента, дає змогу збільшити кількість його обертів без порушення цілісності конструкції. Це дозволяє встановити витий маховик на валу електричного двигуна і позбутися громіздкої клинопасової передачі, яка збільшує габаритні розміри кривошипного преса і вимагає частої заміни клинових пасів унаслідок їх інтенсивного зношення при розгоні масивного монолітного маховика. Такий привод із клинопасової передачею не може використовуватися, наприклад, у вибухонебезпечних приміщеннях внаслідок електризації пасів, на які також не повинно потрапляти мінеральне масло, що ускладнює експлуатацію преса.

Кінетична енергія маховика для преса певного зусилля повинна бути однаковою, незалежно від того, на якому валу встановлено маховик:

$$W_M = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{I_1 \cdot \omega_1^2}{2},$$

де I - момент інерції монолітного маховика, встановленого на приймальному валу відомої конструкції привода;

ω - кутова швидкість монолітного маховика, встановленого на приймальному валу;

I_1 - момент інерції витого маховика, встановленого на валу електродвигуна, згідно із запропонованою конструкцією;

ω_1 - кутова швидкість витого маховика, встановленого на валу електричного двигуна.

Звідси співвідношення моментів інерції маховиків, установлених в удосконаленому й у відомому приводах, дорівнює

$$\frac{I_1}{I} = \frac{\omega^2}{\omega_1^2},$$

тобто моменти інерції маховиків обернено пропорційні квадратам кутових швидкостей валів, на яких вони встановлені.

Але співвідношення $\frac{\omega_1}{\omega}$ є передаточним числом клинопасової передачі i_k , яку розміщено у відомому приводі між валом електродвигуна та приймальним валом. Тому момент інерції маховика у запропонованому приводі, обод якого навито із гнучкого елемента, знаходиться за виразом

$$I_1 = \frac{I}{i_k^2}.$$

Таким чином, більша кутова швидкість маховика забезпечує збільшення запасу кінетичної енергії, тобто підвищення енергоємності привода, або при незмінній величині кінетичної енергії – зменшення радіальних розмірів маховика, тобто зниження матеріалоемності конструкції.

При обертанні привода в ободі маховика виникають напруження розтягання, які пропорційні густині його матеріалу і квадрату колової швидкості на зовнішній поверхні обода. Колова швидкість витків маховика збільшується у міру віддалення від осі обертання. Відповідно збільшуються і напруження розтягання в них згідно з формулою [7]:

$$\sigma = \rho \cdot V^2 = \rho \cdot \omega' \cdot R_i^2,$$

де σ - розтягувальні напруження у кожному витку маховика;

ρ - густина матеріалу, з якого навито обод маховика;

V - колова швидкість кожного витка маховика;

ω' - кутова швидкість кожного витка;

R_i - радіус певного витка маховика.

При навиванні обода маховика із високоміцного гнучкого елемента, площа поперечного перерізу якого пропорційна квадрату його відстані від поздовжньої осі, питомі розтягувальні напруження в його витках під час обертання вирівнюються, що приводить до вирівнювання величини пружних деформацій кожного витка. Це запобігає розшаруванню обода маховика.

Максимально допустима кутова швидкість монолітного маховика у відомому приводі дорівнює

$$\omega = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{[\sigma]}{\rho}},$$

де R - зовнішній радіус відомого монолітного маховика;

$[\sigma]$ - допустиме напруження на розтягання монолітного матеріалу.

Максимально допустима кутова швидкість маховика, обод якого навито із високоміцного гнучкого елемента, становить

$$\omega_1 = \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{\rho}},$$

де R_1 - зовнішній радіус удосконаленого витого маховика;

$[\sigma]_1$ - допустиме напруження на розтягання високоміцного гнучкого елемента, з якого навито обод маховика.

Співвідношення максимально допустимих кутових швидкостей витого і монолітного маховиків, виходячи з однакового запасу їх кінетичної енергії, буде записано у вигляді

$$\frac{\omega_1}{\omega} = \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}}$$

Звідси радіус витого маховика, який встановлено в удосконаленому приводі, знаходиться із такого математичного виразу:

$$R_1 = R \frac{\omega}{\omega_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}} = \frac{R}{i_k} \sqrt{K},$$

де $i_k = \frac{\omega_1}{\omega}$ - передаточне число клинопасової передачі, яка є у відомому приводі й відсутня в удосконаленому приводі завдяки встановленню маховика на валу електричного двигуна;

$K = \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$ - коефіцієнт, що характеризує співвідношення міцнісних властивостей високоміцного гнучкого елемента та монолітного матеріалу.

Наприклад, при модернізації привода кривошипного преса зусиллям 6,3 МН, який має монолітний маховик зі сталі 45 з радіусом $R=1000$ мм, встановлений на приймальному валу, який зв'язано з електродвигуном клинопасовою передачею з передаточним числом $i_k = 3,4$, зовнішній радіус запропонованого маховика, накрученого із гнучкої стрічки зі сталі 45 і встановленого на валу електричного двигуна, буде становити

$$R_1 = \frac{R}{i_k} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}} = \frac{1000}{3,4} \sqrt{\frac{700}{580}} = 324 \text{ мм.}$$

Таким чином, в удосконаленому приводі радіус витого маховика більш ніж утричі менший від радіуса монолітного маховика у введеному приводі при однаковому запасі кінетичної енергії.

Під час роботи привода в ободі витого маховика 5 виникають напруження розтягання і пов'язані з ним деформації. Чим далі від центра розміщено виток гнучкого елемента, тим сильніше його напружено. Отже, першим розірватися може саме цей зовнішній виток. До того ж його ослаблено кріпленням до передостаннього витка склеюванням, зварюванням тощо. У разі перевищення допустимої колової швидкості маховика останній виток розривається і вступає в активне тертя із захисним кожухом. Цей останній виток є своєрідним запобіжником і він розривається сам, але уберігає від розриву весь маховик цілком. Розірваний зовнішній виток при контакті з кожухом гальмує маховик і створює значний шум. Штампувальник за характерним шумом може зробити висновок про аварію, що відбулася, і вимкнути привод преса. Для відновлення роботоздатності маховика достатньо розірваний гнучкий елемент (стрічку, дріт або волокно) приклеїти чи приварити до основного обода.

ВИСНОВКИ

Використання удосконаленого привода завдяки вдосконаленню конструкції маховика та зміні місця його розміщення у приводі кривошипного преса забезпечує такі переваги:

- підвищення енергоємності і більш значне віддавання кінетичної енергії маховиком при робочому ході повзуна кривошипного преса завдяки можливому більшому перепаді кутової швидкості;
- зниження матеріалоемності витого маховика за рахунок зменшення

його радіальних розмірів;

– безпечність під час розривання витого маховика, який гальмується завдяки тертю зруйнованого зовнішнього витка гнучкого елемента по захисному кожуху;

– зниження витрат на ремонт витого маховика у разі розриву зовнішнього витка, який достатньо приклеїти або прикріпити до обода за допомогою зварювання;

– зменшення габаритних розмірів привода внаслідок відсутності клинопасової передачі. Це також підвищує ККД привода, виключає електризацію пасів та їх заміну після зношення.

Описаний привод має знайти широке використання в ковальсько-штампувальному устаткуванні для приведення в рух кривошипних пресів, горизонтально-кувальних та горизонтально-згинальних машин і ковальсько-штампувальних автоматів з маховичним приводом. Робота у напрямку вдосконалення конструкції привода кривошипного обладнання продовжується за активної участі в ній студентів СумДУ [8], які виявили здібності до науково-дослідницької діяльності.

SUMMARY

IMPROVEMENT OF THE FLYWHEEL'S DRIVE OF CRANK PUNCHING EQUIPMENT

*V.S. Zaporozhchenko, A.V. Zaporozhchenko,
Sumy State University, Sumy*

The article is devoted to improve the structure of the drive crank punching equipment and improving the design of the flywheel in the drive, the consideration of theoretical issues of such an improved drive crank machines.

Key words: *punching (stamping) equipment, crank press, crank machine, flywheel's drive, twisted flywheel, the flexible element, tape, wire, fibre, moment of inertia, angular speed (velocity)*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иванов И.И., Соколов А.Л., Соколов В.С. Основы теории обработки металлов давлением: учебник для вузов. – М.: Инфра-М Форум, 2007. – 144 с.
2. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 2006. – 560 с.
3. Кривошипные кузнечно-прессовые машины: Теория и проектирование. / В.И. Власов, А.Я. Борзыкин, И.К. Букин-Батырев и др. / под ред. В.И.Власова. – М.: Машиностроение, 1982. – 424 с.
4. Ланской Е.Н., Банкетов А.Н. Элементы расчета деталей и узлов кривошипных пресов. – М.: Машиностроение, 1966. – 380 с.
5. Патент України № 30037, МПК В30В 15/00. Привод кривошипного преса / В.С.Запорожченко. – Заявлено 09.12.1997; надруковано 15.11.2000, Бюл. №6-II, 2000.
6. Запорожченко В.С. Модернізація привода кривошипного штампувального обладнання // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2008. – №1. – С. 67 – 88.
7. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. – 3-е изд.: перевод с английского. – Л.-М.: ОНТИ, 1934. – Ч. 1 – С. 35.
8. Запорожченко В.С., Леус П.О., Запорожченко А.В. Автоматизоване проектування кривошипного безмуфтового преса з поворотним ексцентриком // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2009. – №1. – С. 148 – 155.

Надійшла до редакції 15 січня 2010 р.