



Моделювання конструкції привода кривошипного устаткування з напресованим маховиком

В. С. Запорожченко¹⁾, А. В. Запорожченко²⁾

^{1),2)} Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, Суми, Україна, 40007

Article info:

Paper received:

09 April 2014

The final version of the paper received:

11 September 2014

Paper accepted online:

07 November 2014

Correspondent Author's Address:

¹⁾ zaporoz@rambler.ru

²⁾ niutka@rambler.ru

Статтю присвячено вдосконаленню конструкції привода кривошипного штампувального устаткування, до складу якого замість традиційного литого маховика введено маховик, складений із напресованих одне на одне кілець, і створенню тривимірної твердотільної моделі такого привода.

Ключові слова: штампувальне устаткування, кривошипний прес, маховичний привод, литий маховик, напресований маховик, електричний двигун, муфта, гальмо, шатун, повзун.

1. ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА МЕТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сьогодні, в еру інновацій та цифрових технологій, незамінними помічниками людини стали сучасні комп'ютерні засоби, які виконують величезну кількість функцій конструювання, моделювання, розрахунку нових процесів і пристроїв, створення та поширення документації, зберігання, обробки і передачі інформації [1]. Застосування цифрових технологій не лише прискорює й робить зручним процес проектування, але і є більш дешевим та функціональним.

Процеси обробки металів тиском (ОМТ) є одними із найбільш прогресивних у сучасному машинобудуванні завдяки раціональному перерозподілу матеріалу при отриманні заготовок і деталей заданої форми, а не за рахунок видалення частини його у стружку, як при обробці різанням [2]. Але устаткування для обробки тиском розвиває значні зусилля, має великі розміри та високу вартість. Тому проектування, виготовлення і випробування таких машин вимагає значних витрат розумової й фізичної праці [3]. Перспективно для цього застосовувати сучасні методи комп'ютерного моделювання та системи автоматизованого проектування (САПР) з метою удосконалення вітчизняних ковальсько-штампувальних машин, які на машинобудівних підприємствах України, у переважній більшості, мають застарілу конструкцію. Особливо це стосується привода кривошипних пресів, який, як правило, складається з трифазного асинхронного електродвигуна, клинопасової передачі, суцільного маховика, фрикційних муфти та гальма, зубчастих передач і проміжних валів. Найбільш недосконалою ланкою у приводі сучасної кривошипної машини є саме маховик, принципова конструкція якого не змінювалася понад 100 років.

У минулому столітті з'явилися наукові праці професора Гуліа М. В. [4], присвячені проблемі

створення ефективних механічних накопичувачів енергії – витих маховиків. Ця проблема найбільш актуальна сьогодні, коли палива стає все менше, а енергія дорожчає з кожним днем. Супермаховики професора Гуліа, наприклад, виготовлені у вигляді навитих на вал карбонових волокон, допускають частоту обертання до 30000 обертів за 1 хвилину і об'єктивно найкращі за перспективами накопичення енергії [5]. Із ними пов'язують подальший розвиток енергетики, транспорту, вантажопідйомних машин, авіації та космонавтики. Але сьогодні такі супермаховики знайшли застосування лише у маховичних електромобілях і громадському транспорті.

Цікаво розмістити так званій супермаховик у приводі кривошипних штампувальних пресів. Тому було запропоновано виготовити маховик не суцільним, а витим зі стрічки чи дроту [6] або складеним із пружних стрічкових елементів [7] і розмістити його на прийнятному валу співвісно валу електричного двигуна. Але відомі технічні рішення складні за конструкцією, потребують кропіткої і тривалої праці для виготовлення відомих маховиків за допомогою спеціальної намотувальної машини із використанням суперклею, приварювання останнього витка, встановлення баластів тощо. Це обмежує впровадження витих маховиків на промисловому штампувальному устаткуванні.

Метою цієї роботи є удосконалення конструкції складеного маховика у приводі кривошипного устаткування і впровадження технології його виготовлення без застосування намотувального та зварювального обладнання і спеціального суперклею, що погіршує екологію довкілля.

2. НОВА КОНСТРУКЦІЯ СКЛАДЕНОГО МАХОВИКА

На підставі пошуково-конструкторської роботи і аналізу недоліків супермаховика, навитого зі стрічки чи дроту, в СумДУ запропоновано нову конструкцію складеного маховика, який складається з кількох кілець поступово більшого діаметра, насаджених одне на одне з натягом за допомогою пресової чи термічної посадок [8]. У першому випадку щільне з'єднання утворюється за рахунок зусилля потужного гідравлічного преса, а у другому – за рахунок різниці температур зовнішнього нагрівального кільця і внутрішнього охолоджувального кільця. З'являється можливість виготовляти складений маховик із різноманітних матеріалів різної міцності та питомої ваги (густини). При обертанні маховика в його ободі виникають напруження розтягання, величина яких збільшується пропорційно квадрату відстані від осі обертання. Внутрішні кільця меншого діаметра можуть бути виготовлені із дешевого матеріалу низької міцності, наприклад із пластмаси, наступні кільця – із

легкого кольорового металу, наприклад, із дюралюмінію, далі із вуглецевої сталі середньої міцності, і, нарешті, найбільш навантажені зовнішні кільця – із високоміцної легованої сталі. Це дозволяє зменшити масу і вартість складеного маховика при незмінному моменті інерції і запасі кінетичної енергії.

Далі було створено просторову твердотільну модель нового привода кривошипного преса із маховиком, обід якого складається із надресованих на приймальний вал концентричних кілець шириною 50 мм і товщиною 8 мм (рис. 1), і розроблено 3D-модель надресованого маховика з кілець, виготовлених із різних матеріалів (рис. 2). Це дозволило змодельовувати роботу запропонованого привода і з'ясувати, що при обертанні маховика у надресованих кільцях виникають напруження, близькі до допустимих для даного матеріалу. Тобто така конструкція маховика дає можливість практично повністю використати ресурс міцності матеріалу кожного кільця.

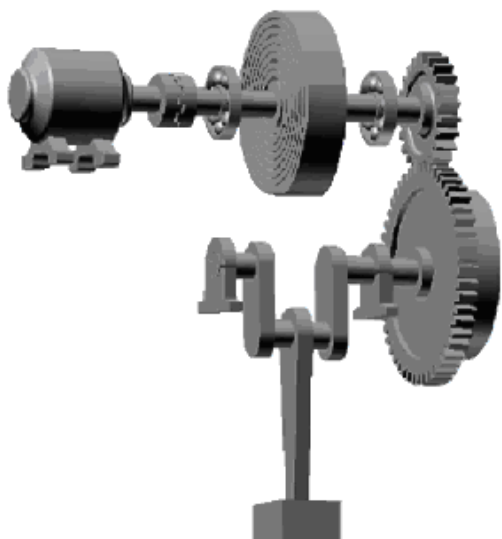


Рис. 1. Твердотільна тривимірна модель привода кривошипного преса

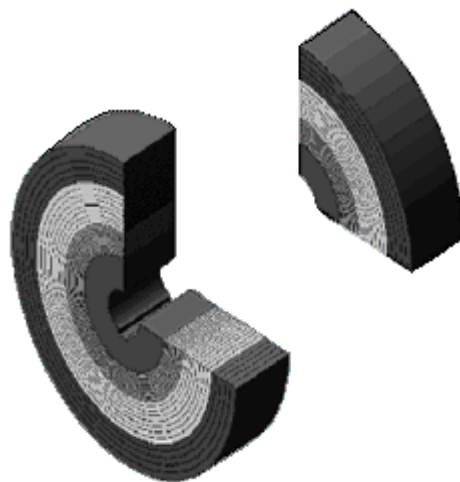


Рис. 2. 3D-модель надресованого маховика, виготовленого із різних матеріалів

На підставі створеної 3D-моделі виконано наочне складання моделі маховика шляхом насування одного кільця на інше та розбирання її на складові деталі.

Спроектований за допомогою САПР привід кривошипного преса (рис. 3) складається з електричного двигуна 1, пружної з'єднувальної муфти 2, приймального вала 3, розміщеного у підшипникових вузлах 4 із встановленим на ньому надресованим 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. Зубчасте колесо 7 встановлено на кривошипному валу 9, який з'єднано шатуном 10 із повзуном преса (на кінематичній схемі привода останній умовно не показаний). Пружна з'єднувальна муфта 2 дозволяє демпфувати (згладжувати) пружні коливання привода від ударних навантажень виконавчого механізму, щоб вони значно менше впливали на роботу електричного двигуна 1.

Маховик 5 виконано у вигляді концентричних кілець, насаджених на центральну обертальну деталь (втулку, маточину тощо), а далі одне на одне з натягом.

Виконання обода складеного маховика з великої кількості концентричних кілець зумовлене тим, що метал у вигляді прокатої або протягнутої труби, з якої далі нарізають кільця, має більшу міцність, ніж литий монолітний маховик. Наприклад, литий монолітний метал зі сталі 45 має межу міцності при розтягуванні 550 МПа, а труба діаметром від 50 до 100 мм, виготовлена з того самого металу, – до 650 МПа за рахунок нагартування металу.

Нова конструкція маховика з ободом, надресованим із концентричних кілець, дає змогу збільшити кількість обертів без порушення його суцільності (цілісності). Це дозволяє встановити надресований маховик на валу електричного двигуна і позбутися громіздкої клинопасової передачі.

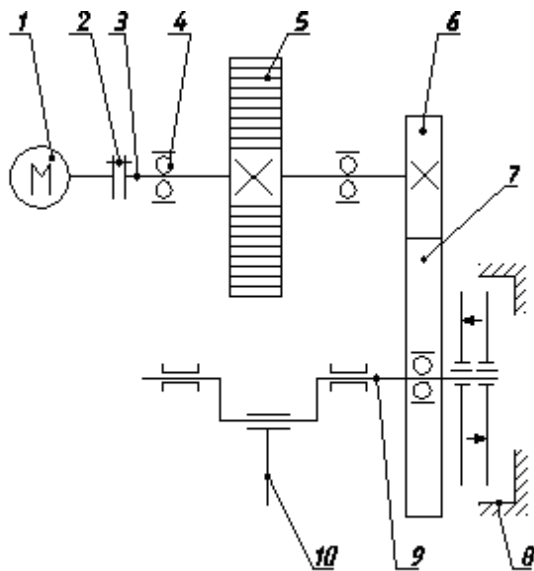


Рис. 3. Кінематична схема привода преса з надресованим маховиком

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 матеріаломісткості конструкції.

Запропонований привід працює так. Від електродвигуна 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 кривошипному валу 9. При вмиканні муфти кривошипного преса відбувається з'єднання зубчастого колеса 7 із кривошипним валом 9. Вал 9 обертається і

через шатун 10 приводить у зворотньо-поступальний рух повзун. При вимиканні муфти відбувається роз'єднання зубчастого колеса 7 з кривошипним 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 електродвигун 1 розганяє маховик 5, що накопичує значний запас кінетичної енергії завдяки збільшенню швидкості обертання. При робочому ході, коли опір деформованого металу різко зростає, швидкість обертання привода починає зменшуватися. Інерція маховика 5 намагається підтримувати її сталою. При цьому маховик 5 віддає частину своєї кінетичної енергії і допомагає електричному двигуну 1 долати збільшений опір переміщенню повзуна вниз. Після закінчення робочого ходу електродвигун 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 лише за рахунок роботи електричного двигуна у цей період, але й за рахунок частини кінетичної енергії, накопиченої маховиком.

Заявлений маховик (рис. 4) включає елемент 1 кріплення до вала (центральну втулку, маточину, тощо) та обід 2, виконаний у вигляді групи концентричних кілець різної товщини з різних матеріалів, міцність яких поступово збільшується від центра маховика до його периферії. Наприклад, товщина кілець 3, 4, 5, 6, 7 і 8 (рис. 4 а), розрахована за безмоментною теорією оболонок, збільшується пропорційно квадрату відстані кожного витка від осі обертання (від центра) маховика, що забезпечує їх однакову міцність при високих швидкостях обертання маховика.

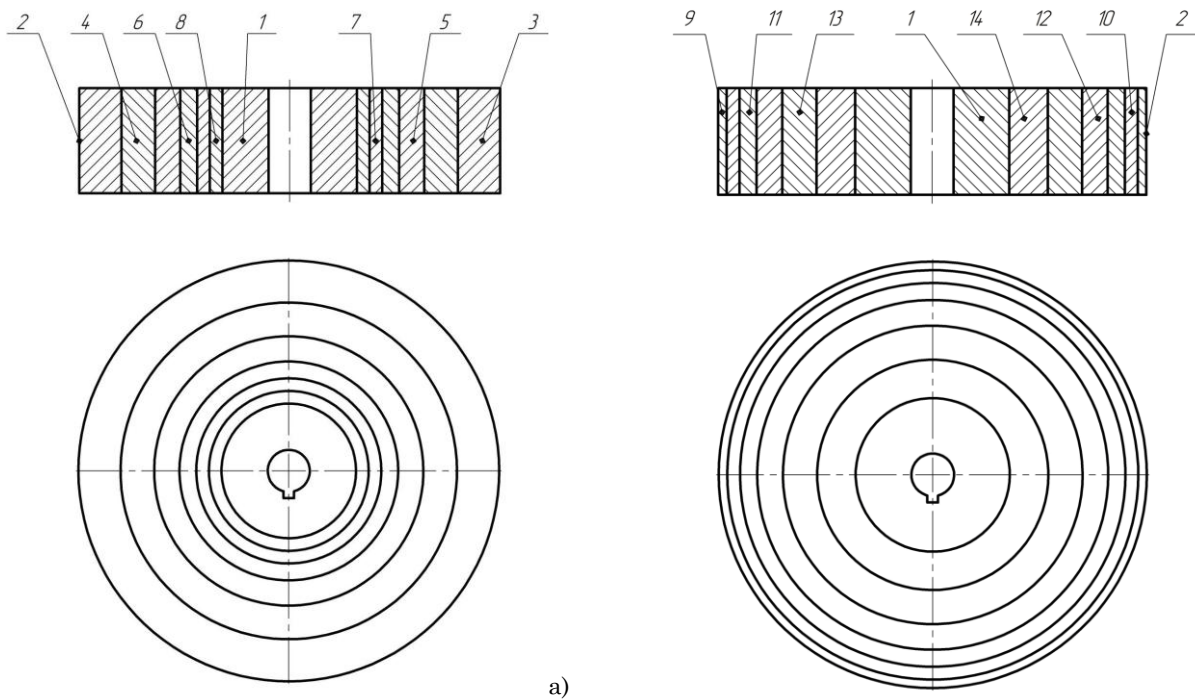


Рис. 4. Схеми запропонованого маховика із концентричними кільцями, товщина яких збільшується (а) чи зменшується (б) до периферії

Товщина кілець 9, 10, 11, 12, 13 і 14 (рис. 4 б), виготовлених із різних марок сталі, поступово зменшується від центра маховика до його периферії, а межа міцності кожного кільця відповідно збільшується, що забезпечує їх рівномірність. Так, для виготовлення внутрішніх кілець використовується вуглецева сталь загального призначення, наприклад, Ст.1, Ст.2, Ст.3 і т. д., для середньої групи кілець – вуглецева якісна сталь із поступовим збільшенням вмісту вуглецю, наприклад, сталь 10, сталь 20, сталь 30 і т. д., а для найбільш навантажених при роботі зовнішніх кілець застосовується високоякісна легована сталь, наприклад, сталь 20Х, сталь 35Х, сталь 40ХН та ін., або сплави з особливими міцнісними та пружними властивостями і навіть надміцні вуглецеві волокна й стрічки, які отримали назву карбонових, що у сотні разів більш міцні, ніж сталь.

ВИСНОВКИ

Використання запропонованого привода кривошипного преса завдяки вдосконаленню конструкції маховика та зміні місця його розміщення у приводі забезпечує нижче перелічені переваги.

1. Технологічний процес виготовлення напруженого маховика здійснюється без застосування намотувальних машин, екологічно шкідливого суперклею, приварювання кінцевого шару стрічки, встановлення пружних кілець, баластів і т. п. Кільця завдяки їх внутрішній структурі, яка утворена холодним прокатуванням чи волочінням труб, мають міцність, вищу від міцності початкового литого металу.

2. Напрямок обертання маховика можливий у будь-якому напрямі і не залежить від напрямку навівання стрічки чи дроту.

3. Можливість застосування різноманітних технологічних процесів складання запропонованого маховика з натягом: термічного, за рахунок різниці температури, напрусування кілець під гідравлічним пресом тощо.

4. Кільця різної товщини можуть бути виготовлені з різноманітних металевих або неметалевих матеріалів, що розширює можливості підбору потрібних конструктивних та енергетичних параметрів маховика.

5. Такий привод може знайти широке використання у ковальсько-штампувальному устаткуванні для приведення в рух кривошипних пресів, механічних ножиць, горизонтально-кувальних та горизонтально-згинальних машин і ковальсько-штампувальних автоматів із маховичним приводом, коли штампувальна галузь промисловості України після економічної кризи почне працювати на повну потужність.

Науково-пошукова робота проводиться силами кращих студентів у рамках дослідницької діяльності гуртка винахідників СумДУ. Результати роботи використовуються у навчальному процесі при викладанні дисциплін «Нарисна геометрія» та «Інженерна і комп'ютерна графіка».

Modeling of crank equipment drive construction with pressed flywheel

V. S. Zaporozhchenko¹⁾, A. V. Zaporozhchenko²⁾

^{1), 2)} *Sumy State University, 2, Rimsky Korsakov Str., Sumy, Ukraine, 40007*

The article is devoted to improving the construction of the drive crank punching equipment, which instead of the traditional cast flywheel includes flywheel consisting of pressed one by one rings, and to creating the three-dimensional solid-body model of such drive.

Key words: punching equipment, crank press, flywheel's drive, cast flywheel, flywheel with pressed rings, electric motor, clutch, brake, connecting rod, slide.

Моделирование конструкции привода кривошипного оборудования с прессованным маховиком

В. С. Запорожченко¹⁾, А. В. Запорожченко²⁾

^{1), 2)} *Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, Сумы, Украина, 40007*

Статья посвящена совершенствованию конструкции привода кривошипного штамповочного оборудования, в состав которого вместо традиционного литого маховика введен маховик, составленный из напрессованных друг на друга колец, и созданию трехмерной твердотельной модели такого привода.

Ключевые слова: штамповочное оборудования, кривошипный пресс, маховидный привод, литой маховик, напрессованный маховик, электрический двигатель, муфта, тормоз, шатун, ползун.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковальов Ю. М. Прикладна геометрія: нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка, сучасні напрями / Ю. М. Ковальов, В. М. Верещага. – К.: Омега-Л, 2012. – 472 с.
2. Романцев Б. А. Обработка металлов давлением / Б. А. Романцев, А. В. Гончарук, Н. М. Вавилкин, С. В. Самусев. – М.: Изд. дом МИСиС, 2008. – 960 с.
3. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков. – М.: Изд. МГТУ, 2006. – 560 с.
4. Гулия Н. В. Инерционные аккумуляторы энергии / Н. В. Гулия. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1973. – 240 с.
5. Гулия Н. В. Супермаховики – из суперкарбона / Н. В. Гулия // Изобретатель и рационализатор. – 2005. – № 12 (672). – С. 14.
6. Патент України № 30037, МПК В30В 15/00. Привод кривошипного преса / В. С. Запорожченко (Україна).– Надрук. 15.11.2000, Бюл. № 6-II.
7. А.с. 1824796 СССР, МКИ В30В 15/00. Привод кривошипного преса / В. С. Запорожченко, А. Н. Загородний (СССР). – Заявка № 4936215/27; заявлено 14.05.91; зарегистр. 12.10.92.
8. Патент України № 83924, МПК F16F 15/30 (2006.01). Маховик / В. С. Запорожченко, А. М. Демченко, А. В. Запорожченко (Україна).– Надрук. 10.10.2013, Бюл. № 19.

REFERENCES

1. Kovalov Yu. M. (2012). *Prikladna geometriya: narisna geometriya, inzhenerna ta komp'yuterna grafika, suchasni napryami*. K., Omega-L, 472 p. [in Ukrainian].
2. Romantsev B. A., Goncharuk A. V., Vavilkin N. M., Samusev S. V. (2008). *Obrabotka metallov davleniem*. M, Izd. Dom MISiS, 960 p. [in Russian].
3. Zhivov L. I., Ovchinnikov A. G., Skladchikov E. N. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie*. (2006). M.: Izd. MGTU, 560 p. [in Russian].
4. Gulia N. V. (1973). *Inertsionnyie akkumulyatoryi energii*. Voronezh, Izd. VGU, 240 p. [in Russian].
5. Gulia N. V. (2005). *Izobretatel i ratsionalizator*, Vol. 12(627), pp 14. [in Russian].
6. Zaporozhchenko V. S. (2000). *Privod krivoshipnogo presa* [Patent Ukrainian], Vol.6-II. [in Ukrainian].
7. Zaporozhchenko V. S., Zagorodniy A. N. (1992). [A.s. 1824796 SSSR, MKI V30V 15/00]. [in Ukrainian].
8. Zaporozhchenko V. S., Demchenko A. M. (2013). [Patent Ukrayini №83924, MPK F16F 15/30]. [in Ukrainian].