

УДК 621.97-231.32:621.96

Чоста Н. В.
Зубков В. С.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ С КЛИНОШАРНИРНЫМ МЕХАНИЗМОМ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Разделительные операции выполняются как на специализированном кузнечно-прессовом оборудовании: ножницах, хладноломах и др., так и на универсальном: гидравлических и механических прессах, молотах, пресс-молотах, в которых, в качестве исполнительных механизмов применяются: гидроцилиндры, кривошипно-шатунные, коленно-рычажные, винтовые механизмы.

Анализ состояния вопросов технологии и оборудования для разделения сортового проката показывает, что существующие исполнительные механизмы являются, как правило, многозвенными и имеющими невысокую жесткость, что, в сочетании с мгновенной разгрузкой пресса в момент разделения проката, приводит к ненадежной работе оборудования, разрушению элементов конструкции, станины и фундамента пресса [1–4].

Поэтому новый качественный уровень развития заготовительного производства возможен при условии создания нового кузнечно-прессового оборудования с повышенными энергетическими возможностями, жесткостью и использованием нестандартных исполнительных механизмов.

В качестве таких исполнительных механизмов могут быть использованы разрабатываемые в Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА) клиношарнирные механизмы, отличающиеся следующими преимуществами: большими опорными поверхностями деталей; небольшой высотой звеньев по направлению действия рабочей силы; возможностью вынесения податливых деталей и узлов пресса из зоны действия максимальной силы; переменностью соотношения между приводной и рабочей силами и др. На протяжении многих лет работы по исследованию клиношарнирного механизма проводились в ДГМА под руководством профессора Роганова Л. Л. [5].

Значительный вклад в создание и последующее развитие научных основ разработки оборудования и технологии для реализации безотходных способов разделения сортового проката внесли: Зимин А. И., Власов В. И., Живов Л. И., Ланской Е. Н., Овчинников А. Г., Роганов Л. Л., Мещерин В. Т., Соловцов С. С., Финкель В. М., Тимощенко В. А., Борисов В. М., Высоцкий Е. Н., а также ряд других отечественных и зарубежных ученых [6–7].

Анализ проведенных исследований [8] показал, что наиболее эффективными для разделительных процессов будут клиношарнирные механизмы с вогнутым клином, у которых график изменения силы на ползуне соответствует графику изменения силы при разделении.

Однако клиношарнирные механизмы имеют значительное количество поверхностей трения, что снижает энергосиловые параметры оборудования и надежность его работы в целом.

Цель работы – повышение эффективности работы кузнечно-прессового оборудования с клиношарнирным механизмом с вогнутым клином за счет снижения трения на контактных поверхностях.

Для типового клиношарнирного механизма характерно наличие четырех поверхностей трения («клин – направляющие», «клин – шарнир», «шарнир – ползун», «ползун – направляющие»), имеющих, по сравнению с габаритными размерами самого механизма, достаточно большие площади. Это приводит к тому, что условия трения оказывают существенное влияние на соотношение между приводной силой на клине и рабочей силой на ползуне, а, следовательно, и на коэффициент полезного действия клиношарнирного механизма.

На основании результатов силового анализа клиношарнирного механизма с вогнутым клином (рис. 1) получена формула для определения коэффициента полезного действия (КПД) [9]:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg}(\varphi + \rho + \psi)}, \quad (1)$$

где φ – угол поворота шарнира 2 (угол между направлением перемещения ползуна 3 и линией, соединяющей центры кривизны цилиндрических поверхностей шарнира 2 и клина 1);

$\rho = \operatorname{arctg} f$ – угол трения в направляющих ползуна и клина;

$\psi = \operatorname{arcsin} \left(f \cdot \left(\frac{1+r}{R} \right) \right)$ – угол, учитывающий потери на трение в цилиндрических по-

верхностях клина и шарнира;

f – коэффициент трения в кинематических парах;

R – радиус цилиндрической поверхности клин-шарнир;

r – радиус цилиндрической поверхности шарнир-ползун.

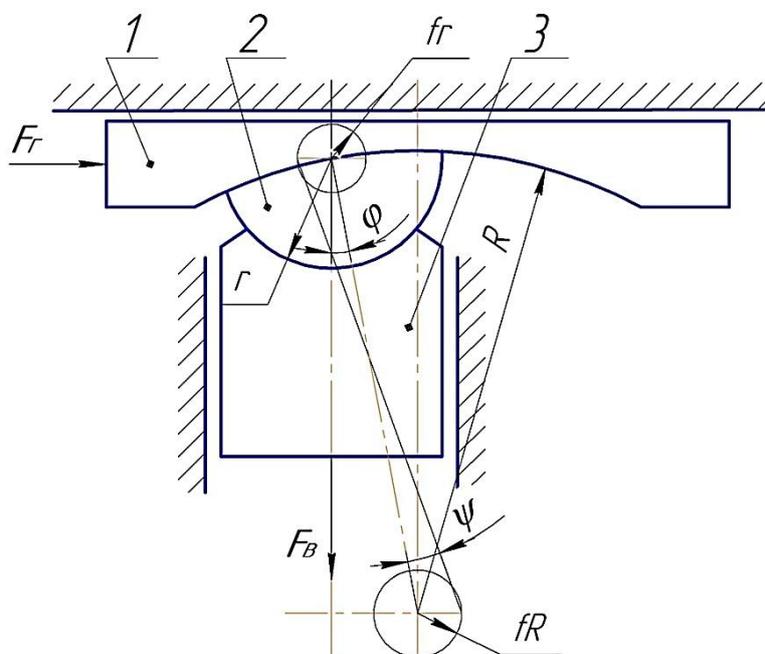


Рис. 1. Схема клиношарнирного механизма с вогнутым клином

Полученная зависимость позволяет сделать вывод о том, что на КПД клиношарнирного механизма существенное влияние оказывают условия трения на рабочих поверхностях, имеющих, по сравнению с размерами самого механизма, достаточно большие площади, и габаритные размеры клиношарнирного механизма. Проанализируем количественное и качественное влияние этих факторов.

Силовой анализ клиношарнирного механизма [9] показал, что по сравнению с «идеальным» механизмом, в котором отсутствуют силы трения, у реального клиношарнирного механизма, работающего в условиях трения скольжения (коэффициент трения $f=0,1$), выигрыш в силе уменьшается в 4...7 раз в начале хода клина и в 2...2,5 раза – в конце. Ухудшение условий трения, т. е. увеличение коэффициента f , ведет к еще более значительным потерям в силовом соотношении, а, следовательно, и к снижению КПД механизма. Так при увеличении f с 0,1 до 0,2 коэффициент полезного действия клиношарнирного механизма уменьшается на 10...20 %.

Наглядно зависимость КПД клиношарнирного механизма от условий трения можно показать также в виде зависимости, представленной на рис. 2, построенной при постоянном коэффициенте, характеризующем соотношение основных размеров клиношарнирного механизма – $k = r/R = 0,2$ (в рекомендуемых пределах) и $\varphi = 12^\circ$.

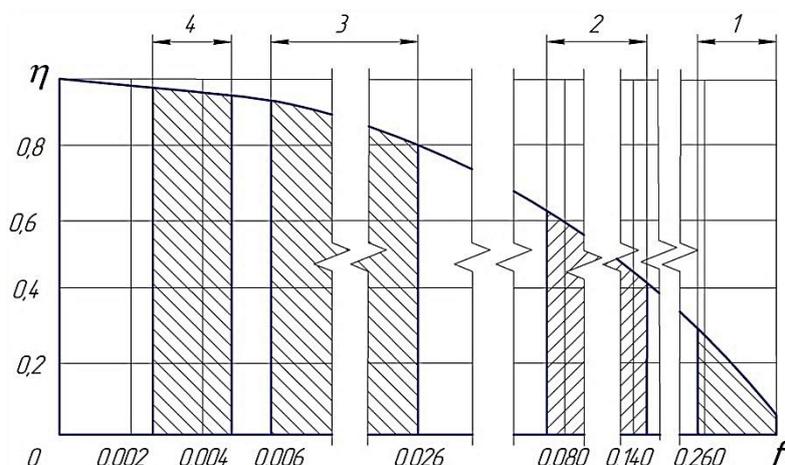


Рис. 2. График зависимости КПД клиношарнирного механизма от коэффициента трения f

Анализ графика позволяет сделать такие выводы:

- зона 1 – зона сухого трения $\eta = (5...28)\%$;
- зона 2 – зона граничного трения $\eta = (40...62)\%$;
- зона 3 – зона жидкостного трения (гидродинамическая или гидростатическая смазка) $\eta = (80...95)\%$;
- зона 4 – зона трения качения $\eta = (97...99)\%$.

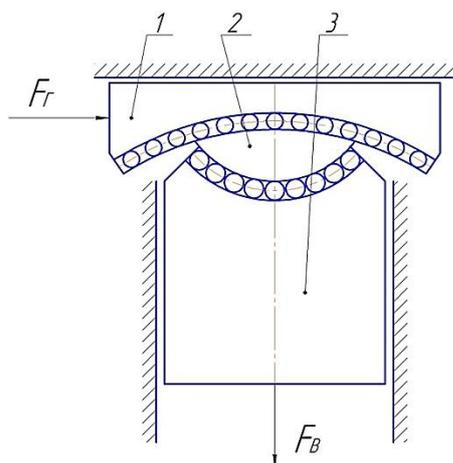
Таким образом, высокие значения КПД клиношарнирного механизма можно получить при замене трения скольжения трением качения или в условиях жидкостного трения, когда между рабочими поверхностями клина, шарнира и ползуна создается масляный слой, давление в котором поддерживается на требуемом уровне. Подобные условия можно создать, закачивая между рабочими уплотненными поверхностями клиношарнирного механизма смазку под давлением большим, чем давление, возникающее от рабочей силы. Хотя при этом несколько снижается жесткость механизма.

Технически более простым способом повышения КПД клиношарнирного механизма с вогнутым клином является замена трения скольжения трением качения. Рассмотрим возможность такой замены на поверхностях: «клин-шарнир», «шарнир-ползун», т. к. условия трения именно на них оказывают наибольшее влияние на соотношение сил клиношарнирного механизма.

Возможны две основные схемы построения поверхностей качения, когда длина направляющих одного узла больше, чем другого (рис. 3, 4):

Вариант 1 (рис. 3) – длина сепаратора больше длины короткого узла и последний опирается на тела качения по всей своей длине. Достоинством такой схемы является постоянство расположения опорной поверхности более короткого узла, а недостатком – трудность осуществления хорошей защиты тел качения из-за выступающей части сепаратора.

Вариант 2 (рис. 4) – длина сепаратора меньше или равна длине короткого узла. Достоинством такой схемы является то, что длина хода узла не ограничена. Однако при этом для тел качения нужно предусмотреть каналы возврата, чтобы они перемещались по замкнутой траектории, что усложняет технологию изготовления и повышает себестоимость изготовления механизма.



1 – вогнутый клин; 2 – шарнир; 3 – ползун

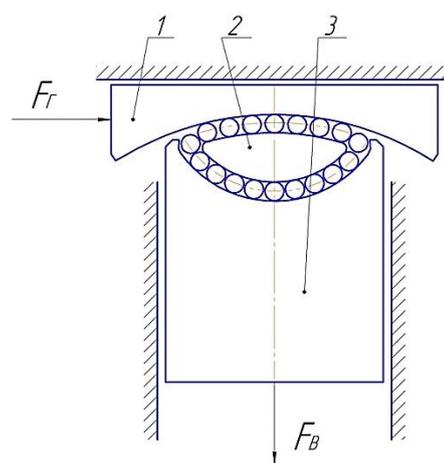


Рис. 3. Конструктивная схема клиношарнирного механизма с поверхностями качения (вариант 1)

Рис. 3. Конструктивная схема клиношарнирного механизма с поверхностями качения (вариант 2)

В качестве тел качения целесообразно использовать игольчатые ролики, учитывая ограничения по высоте механизма.

Оценку прочности клиношарнирного механизма нужно производить по контактным напряжениям:

$$\sigma_H = \sqrt{(w \cdot E_{np}) / (2\rho_{np}) \cdot 1 / (\pi(1 - \mu^2))} \leq [\sigma]_H,$$

где $w = F_B / b$ – удельная нагрузка по длине линии контакта, Н/мм;

F_B – сила на ползуне, Н;

b – длина тела качения (ролика), мм;

ρ_{np} – приведенный радиус кривизны поверхностей в зоне контакта роликов с шарниром, мм;

$$1/\rho_{np} = 1/r_\delta - 1/r = (r - r_\delta) / (r \cdot r_\delta),$$

где r – радиус цилиндрической поверхности шарнир-ползун;

r_δ – радиус ролика, мм;

μ – коэффициент Пуассона;

E_{np} – приведенный модуль упругости Юнга материалов деталей, МПа.

ВЫВОДЫ

На основе анализа теоретических исследований реализации различных условий трения на контактных поверхностях клиношарнирного механизма с вогнутым клином установлено, что основным фактором, влияющим на КПД механизма, является коэффициент трения.

Технически более простым способом повышения КПД клиношарнирного механизма с вогнутым клином является замена трения скольжения трением качения, что позволяет достигать значений $\eta = (97..99)\%$.

Добавление тел качения (роликов) уменьшает жесткость системы, однако она остается по-прежнему достаточно высокой, по сравнению с традиционным рычажным механизмом. Чем меньше радиус ролика, тем больше жесткость всей системы. Это объясняется более равномерным распределением нагрузки по телам качения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для вузов / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков ; под ред. Л. И. Живова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.
2. Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для машиностроительных вузов / А. Н. Банкетов, Ю. А. Бочаров, Н. С. Добринский и др. ; под ред. А. Н. Банкетова, Е. Н. Ланского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с.
3. Кривошипные кузнечно-прессовые машины / В. И. Власов, А. Я. Борзыкин, И. К. Букин-Батырев и др. ; под ред. В. И. Власова. – М. : Машиностроение, 1982. – 424 с.
4. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1981. – 376 с.
5. Роганов Л. Л. Теоретические основы разработки и внедрения эффективных кузнечно-прессовых машин на базе гидроупругого привода : дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.05 / Роганов Л. Л. – Краматорск, 1988. – 506 с.
6. Соловцов С. С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах / С. С. Соловцов. – М. : Машиностроение, 1985. – 176 с.
7. Финкель В. М. Холодная ломка проката / В. М. Финкель, Ю. И. Головин, Г. Б. Родюков. – М. : Металлургия, 1982. – 192 с.
8. Роганов Л. Л. Теоретический анализ возможностей клиношарнирного механизма с вогнутым клином / Л. Л. Роганов, Е. А. Корнева, Н. В. Чоста // Сб. научн. статей. – Краматорск : ДГМА, 1996. – Вып. 3. – С. 122–131.
9. Роганов Л. Л. Определение КПД клиношарнирных механизмов / Л. Л. Роганов, Н. В. Чоста // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2003. – С. 487-489.

REFERENCES

1. Zhivov L. I. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie : uchebnyk dlja vuzov / L. I. Zhivov, A. G. Ovchinnikov, E. N. Skladchikov ; pod red. L. I. Zhivova. – M. : Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2006. – 560 s.
2. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie : uchebnyk dlja mashinostroitel'nyh vuzov / A. N. Banketov, Ju. A. Bocharov, N. S. Dobrinskij i dr. ; pod red. A. N. Banketova, E. N. Lanskogo. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 576 s.
3. Krivoshipnye kuznechno-pressovye mashiny / V. I. Vlasov, A. Ja. Borzykin, I. K. Bukin-Batyrev i dr. ; pod red. V. I. Vlasova. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 424 s.
4. Zhivov L. I. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie. Pressy / L. I. Zhivov, A. G. Ovchinnikov. – 2-e izd., pererab. i dop. – K. : Vishha shkola, 1981. – 376 s.
5. Roganov L. L. Teoreticheskie osnovy razrabotki i vnedrenija jeffektivnyh kuznechno-pressovyh ma-shin na baze gidrouprugogo privoda : dis. ... d-ra tehn. nauk : 05.03.05 / Roganov L. L. – Kramatorsk, 1988. – 506 s.
6. Solovcov S. S. Bezothodnaja razrezka sortovogo prokata v shtampah / S. S. Solovcov. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 176 s.
7. Finkel' V. M. Holodnaja lomka prokata / V. M. Finkel', Ju. I. Golovin, G. B. Rodjukov. – M. : Metallurgija, 1982. – 192 s.
8. Roganov L. L. Teoreticheskij analiz vozmozhnostej klinosharnirnogo mehanizma s vognutym klinom / L. L. Roganov, E. A. Korneva, N. V. Chosta // Sb. nauchn. statej. – Kramatorsk : DGMA, 1996. – Vyp. 3. – S. 122–131.
9. Roganov L. L. Opredelenie KPD klinosharnirnyh mehanizmov / L. L. Roganov, N. V. Chosta // Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobki tiskom u metalurgii i mashinobuduvanni : zb. nauk. pr. – Kramators'k : DDMA, 2003. – S. 487-489.

Чоста Н. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ОПМ ДГМА;

Зубков В. С. – студент гр. МО 15-1 ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: okmm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 11.12.2017 г.