

УДК 672.3: 621.73: 621.979.134

Явтушенко А. В.

ВЛИЯНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ КЛИНОРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ДИНАМИКУ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИВОДА МЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕССА

Производительность механического пресса определяется, прежде всего, числом фактических ходов ползуна, которое зависит от номинального числа ходов и длительности паузы между двумя соседними циклами. Резервом повышения производительности пресса как технологической машины является или повышение нормированного числа ходов, что не всегда допустимо, или уменьшение паузы между циклами. При определенных условиях повышение производительности пресса возможно за счет уменьшения паузы между циклами путем изменения технических параметров самого пресса без изменения номинального числа ходов.

Длительность технологического цикла пресса есть сумма времени одного двойного хода ползуна и времени паузы между двумя циклами [1]:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{дх}} + t_n.$$

Время одного двойного хода ползуна определяется нормированным числом ходов n_n :

$$t_{\text{дх}} = \frac{60}{n_n}.$$

В технической литературе производительность пресса принято оценивать с помощью коэффициента использования числа ходов p_u [1, 2, 3]:

$$p_u = \frac{t_{\text{дх}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{60}{n_n t_{\text{ц}}}. \quad (1)$$

Усредненное значение коэффициента p_u для отдельных типов механических прессов принимается на основе статистических данных промышленного опыта.

Длительность паузы между циклами, которую иногда не совсем корректно называют «технологической», выбирается как большая величина из двух вероятных значений. В первом случае длительностью паузы является время t_n , необходимое для выполнения всех операций по перемещению заготовки и готовой штампованной детали, предписанных технологическим процессом после выполнения одного хода и остановки ползуна. Пауза действительно является технологической, т. к. обеспечивает нормальное выполнение технологического процесса. Длительность этого периода зависит от быстродействия средств механизации, если они установлены, или производительности персонала при ручном обслуживании пресса. Во втором случае длительность паузы определяется временем t_6 , необходимым для полного восстановления угловой скорости маховика, т. е. восстановления запаса энергии, расходуемой маховиком в период рабочего хода. Время цикла в таком случае определяется по формуле:

$$t_{\text{ц}} = \frac{t_{\text{дх}}}{2} + t_6. \quad (2)$$

В литературе никаких данных о зависимости длительности технологического цикла от условий работы отдельных узлов и систем пресса не приводится. Между тем экспериментальные исследования показывают, что длительность переходных процессов при разгоне маховика существенным образом зависят от величины скольжения клиноременной передачи [5, 6, 7].

Цель работы состоит в анализе влияния скольжения клиноременной передачи на длительность переходных процессов маховичного привода и производительность механического пресса.

Если время технологического цикла определяется временем восстановления угловой скорости маховика t_{δ} , минимальная длительности технологического цикла определяется параметрами маховика, двигателя и клиноременной передачи.

При аппроксимации движущего момента электродвигателя по формуле Клосса и постоянном моменте сил сопротивления M_c время восстановления скорости маховика от минимальной ω_{min} до максимальной ω_{max} определяется по формуле [8]:

$$t_{\delta} = \frac{T_{\delta}\alpha}{2} \left[S_{min} - S_{max} + 2\alpha S_{кр} \left(\frac{S_1}{S_1 - S_2} \ln A - \frac{S_2}{S_1 - S_2} \ln B \right) \right], \quad (3)$$

где T_{δ} – механическая постоянная привода:

$$T_{\delta} = \frac{J_M \omega_s}{M_{кр}},$$

J_M – момент инерции маховика;

ω_s – синхронная скорость маховика;

$M_{кр}$ – критический момент электродвигателя;

α – относительный момент сил сопротивления:

$$\alpha = \frac{M_{кр}}{M_c};$$

S_{min} , S_{max} – соответственно, минимальное и максимальное скольжение маховика в конце и в начале процесса восстановления скорости:

$$\omega_{min} = \omega_s (1 - S_{max}), \quad \omega_{max} = \omega_s (1 - S_{min});$$

$S_{кр}$ – критическое скольжение двигателя.

Коэффициенты S_1 , S_2 , A и B определяются по формулам:

$$S_1 = S_{кр} \left(\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 1} \right); \quad S_2 = S_{кр} \left(\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 1} \right);$$

$$A = \frac{S_{min} - S_1}{S_{max} - S_1}; \quad B = \frac{S_{min} - S_2}{S_{max} - S_2}.$$

Конечное скольжение маховика S_{min} определяется величиной момента сил сопротивления M_c . При линейной аппроксимации момента двигателя минимальное скольжение маховика определяется по формуле:

$$S_{min} = \frac{S_{кр}}{2\alpha}.$$

Для механических прессов при нормальных условиях эксплуатации значения коэффициента α составляют 10...15. Учитывая, что для двигателей нормального и повышенного скольжения при коэффициенте кратности крутящего момента $\lambda = 1,9...2,2$ можно принимать $S_{\delta\delta} \approx (3,5...4)S_i$, минимальное скольжение маховика будет $S_{min} = (0,13...0,17) S_{\delta}$.

Максимальное скольжение маховика S_{max} происходит в момент окончания рабочего хода и зависит от величины кинетической энергии маховика, использованной для выполнения рабочего хода A_m . По условиям нагрева принимается, что допустимое скольжение двигателя не должно превышать $0,85S_{кр}$. Наличие скольжения ременной передачи приводит к тому, что максимальное скольжение маховика может составлять:

$$S_{max} = 0,85S_{кр} + S_{рм}, \quad (4)$$

где $S_{рм}$ – максимальное скольжение ременной передачи в конце рабочего хода.

Экспериментальные и теоретические исследования клиноременных передач общего назначения [7], листоштамповочных, горячештамповочных прессов и горизонтально-ковочных машин показывают, что максимальное скольжение ременной передачи для существующих условий эксплуатации оборудования составляет 4...6 % и более [5, 6].

Величина кинетической энергии A_m , расходуемой маховиком в период рабочего хода, является неизменной и определяется величиной затрат энергии на пластическое деформирование и потерь энергии на трение и упругое деформирование [1–3]:

$$\frac{J_m}{2} (\omega_{max}^2 - \omega_{min}^2) = A_m = const. \quad (5)$$

Для действующего оборудования это означает, что при неизменной величине A_m увеличение скольжения ременной передачи приведет к пропорциональному уменьшению фактического скольжения двигателя в соответствии с (4).

Для нового оборудования увеличение скольжения ременной передачи дает возможность определенного улучшения его технических характеристик.

При увеличении скольжения ременной передачи до $S_{рм}$ и нагрузке двигателя, по-прежнему, до допустимого скольжения $S_d = 0,85S_{кр}$, значение минимальной скорости маховика ω_{min} увеличивается. В соответствии с условием (5) возможно снижение необходимого момента инерции J_m маховика до величины:

$$J_{mv} = J_{m0} \frac{\Delta S_0}{\Delta S_v}, \quad (6)$$

где ΔS – показатель степени снижения энергии маховика в период рабочего хода:

$$\Delta S = (1 - S_{min})^2 - (1 - S_{max})^2,$$

J_{m0} и ΔS_0 – соответственно, момент инерции маховика и показатель степени снижения его энергии маховика при расчетном скольжении ременной передачи $S_p = 0,01$;

J_{mv} и ΔS_v – соответствующие параметры при скольжении ременной передачи $S_{рм} > S_p$.

Например, для кривошипного горячештамповочного пресса номинальным усилием 25 МН ($S_n = 0,03$) увеличение скольжения $S_{рм}$ ременной передачи с 0,01 до 0,04 приводит к возможности снижения необходимого момента инерции маховика с 4350 кг·м² до 3417 кг·м², т. е. на 21 %. Помимо уменьшения габаритных размеров и массы маховика, что само уже обеспечивает значительный эффект, уменьшение момента инерции приводит к снижению длительности восстановления угловой скорости. Не смотря на увеличенное значение минимальной скорости маховика, время восстановления скорости t_e для указанного примера снижается с 4,68 с до 4,17 с, т. е. на 10,9 %.

На рис. 1 показано изменение времени восстановления скорости маховика t_e для клиноременной передачи КГШП усилие 25 МН при различных значениях номинального скольжения двигателя и максимального скольжения клиноременной передачи.

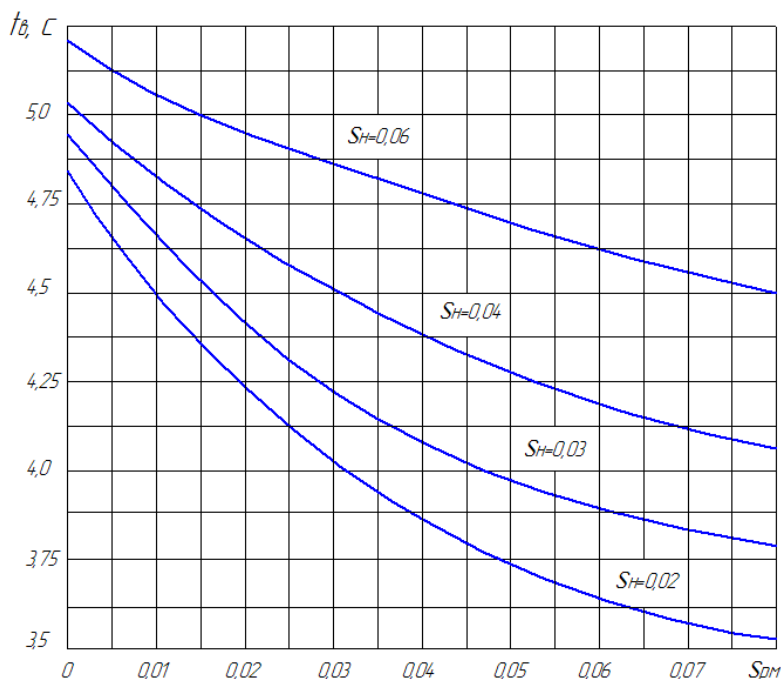


Рис. 1. Зависимость времени t_b от максимального скольжения ременной передачи

Вполне очевидно, что наибольшее скольжение ременной передачи влияет на длительность переходного процесса при малых значениях скольжения двигателя.

С учетом (6), (4), (3) и (2) максимальное значение коэффициента использования числа ходов p_u при ограничении производительности прессы по времени восстановления скорости маховика существенно увеличивается. На рис. 2 показана зависимость коэффициента использования числа ходов для указанного КГШП от максимального скольжения клиноременной передачи.

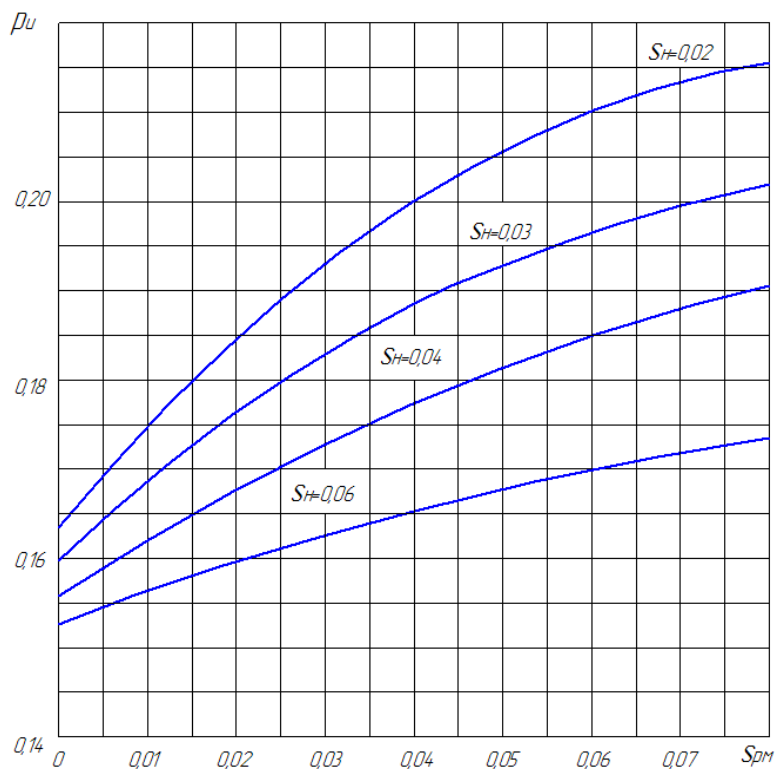


Рис. 2. Максимальное значение коэффициента p_u от максимального скольжения ременной передачи

Как видно из рисунков, увеличенное скольжение ременной передачи, при прочих равных условиях, позволяет уменьшить необходимый момент инерции маховика и увеличить возможный коэффициент использования числа ходов для указанного примера с 0,168 до 0,186, т. е. на 11 %.

Конечно же, повышение скольжения ременной передачи не может быть рекомендовано как направление повышения производительности прессы. Скольжение передачи приводит к потере как скорости, так и энергии, поэтому является в целом отрицательным явлением. Однако оно является неизбежным свойством ременной передачи, как передачи трением, и в данном случае показано, как это отрицательное свойство можно использовать для улучшения характеристики прессы.

Обращает внимание близкое значение расчетного коэффициента использования числа ходов (0,168) к значениям, рекомендованным для КГШП в технической литературе (0,15...0,25) [1–4]. Из этого следует вывод, что ограничение коэффициента использования числа ходов горячештамповочных прессов определяется временем восстановления скорости маховика, а не производительностью средств механизации или обслуживающего персонала.

ВЫВОДЫ

Фактическое скольжение клиноременной передачи механических прессов превышает рекомендуемые значения (1 %) и достигает не менее 4...6 %, при среднем скольжении порядка 2...4 %.

Учет максимального скольжения ременной передачи механического прессы обеспечивает снижение необходимого момента инерции маховика более чем на 15...20 %.

Уменьшение момента инерции маховика при повышенном скольжении ременной передачи позволяет увеличить на 10...15 % коэффициент использования числа ходов.

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, 2006. – 560 с.*
2. Бочаров Ю. А. *Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для вузов / Ю. А. Бочаров. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.*
3. Свистунов В. Е. *Кузнечно-штамповочное оборудование. Кривошипные прессы / В. Е. Свистунов. – М. : МГИУ, 2008. – 704 с.*
4. Ланской Е. Н. *Элементы расчета узлов и деталей кривошипных прессов / Е. Н. Ланской, А. Н. Банкетов. – М. : Машиностроение, 1966. – 380 с.*
5. Кулаков Н. Д. *О путях повышения долговечности клиновых ремней в приводе кривошипного горячештамповочного прессы / Н. Д. Кулаков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1965. – № 1. – С. 38–41.*
6. Пожидаев Н. Н. *К расчету клиноременных передач кривошипных прессов на долговечность / Н. Н. Пожидаев, Э. Ф. Богданов // Труды МВТУ. – М. : Машиностроение, 1978. – № 263. – С. 88–100.*
7. Пронин Б. А. *Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) / Б. А. Пронин, Г. А. Ревков. – М. : Машиностроение, 1980. – 320 с.*
8. *Электрооборудование кузнечно-прессовых машин : справочник / В. Е. Стоколов, Г. С. Усышкин, В. М. Степанов и др. – М. : Машиностроение, 1981. – 304 с.*

Явтушенко А. В. – канд. техн. наук, доц. ЗНТУ.

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

E-mail: ayav2008@yandex.ru