

УДК 531.8; 621.8 (28.001.2); 621.73

Явтушенко А. В.

## СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ГЛАВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕССОВ

Первостепенной задачей при проектировании пресса как механической системы является структурный синтез исполнительных механизмов. Исполнительные механизмы механических прессов представляют собой плоские многозвенные рычажные механизмы второго класса с одной степенью свободы. Ведущее звено совершает вращательное движение, ведомое звено чаще всего совершает прямолинейное возвратно-поступательное движение, т. е. механизмы являются механизмами циклического действия. При огромном многообразии структурных схем таких механизмов их структурный синтез производится чаще всего на основе интуитивных методов с использованием предшествующего опыта, многочисленных справочных материалов. Основная сложность структурного синтеза состоит в трудности математической формализации задачи синтеза и отсутствии единой методологии структурного синтеза. Указывая цель синтеза, чаще всего не приводится метод ее достижения.

Основная задача исполнительного механизма состоит в удовлетворении требований технологического процесса и условий функционирования самого механизма, которые в общем случае описаны во многих научных работах [1–4].

Цель данной работы состоит в обобщении задач структурного синтеза главных исполнительных механизмов механических прессов с учетом конструктивных особенностей и технологического назначения.

Для главного исполнительного механизма должен быть обеспечен заданный закон изменения скорости ползуна, а для вспомогательных исполнительных механизмов – выстой ползуна в крайнем нижнем положении.

Требуемый закон движения ползуна определяется, прежде всего, технологическим назначением пресса, точнее скоростными условиями пластического деформирования металла выбранным технологическим способом. В этом отношении исполнительные механизмы механических прессов делятся на три группы.

К первой группе относятся механизмы универсальных прессов для выполнения технологических операций, в которых качество пластического деформирования практически не зависит от закономерности перемещения ползуна в период рабочего хода (разделительные операции листовой штамповки, гибка, горячая объемная штамповка и др.). В таких прессах рационально использовать наиболее простой и надежный механизм – кривошипно-ползунный, в полной мере отвечающий всем перечисленным требованиям.

Вторую группу механизмов составляют главные исполнительные механизмы прессов для тех технологических операций, для которых требуется обеспечение благоприятного протекания деформирования заготовки (глубокая вытяжка, холодное выдавливание, чистовая вырубка и др.). Для таких операций требуется ограниченная по модулю скорость ползуна и предпочтительно постоянная или близкая к постоянной. Такие условия движения ползуна могут быть обеспечены только при использовании многозвенных рычажных и зубчато-рычажных механизмов сложной структуры.

Третью группу составляют механизмы, обеспечивающие на заданном интервале поворота главного ведущего вала, выстой ползуна с наименьшим отклонением от нулевого положения. Такие механизмы используют, как правило, в качестве дополнительных исполнительных механизмов, осуществляющих прижим заготовки при вытяжке, создание противодавления при чистовой вырубке, объемной штамповке в разъемных матрицах и других технологических операциях. Ввиду принципиального отличия закона движения исполни-

тельного органа механизмов третьей группы от законов движения механизмов двух предыдущих групп, вопросы их структурного синтеза составляют самостоятельную задачу и рассмотрены в других работах, в том числе и автора.

Некоторые исследователи [3, 4] выделяют отдельную группу механизмов, которые обеспечивают замедление ползуна вблизи нижнего положения (исполнительные механизмы прессов для холодной объемной штамповки, чеканочные прессы и др.). Методологически такие механизмы должны относиться к механизмам второй группы, как обеспечивающие специальный закон перемещения ползуна. Главное состоит в том, что они представляют собой специальные механизмы с особыми кинематическими свойствами, и не столь важно представляют ли они собой отдельную группу, или входят в одну из указанных.

В данной статье рассмотрены вопросы структурного синтеза механизмов второй группы, т. е. механизмов, которые должны кроме всего прочего обеспечивать замедление скорости ползуна перед началом пластического деформирования заготовки и, по возможности, постоянство его скорости в период рабочего хода. Такие механизмы используются в специализированных прессах для выполнения операций с жесткими требованиями к скоростному режиму движения инструмента – прессы для вытяжки, для холодного выдавливания, для чистой вырубке и др. В научно-технической литературе приведены некоторые данные по предельной величине скорости ползуна [ $V_{\partial}$ ] в период рабочего хода для операций листовой и объемной штамповки. Так при холодном выдавливании стали предельная скорость [ $V_{\partial}$ ] не должна превышать 250–300 мм/с [5]. При чистой вырубке в зависимости от толщины металла и марки стали скорость [ $V_{\partial}$ ] составляет не более 25–50 мм/с [6]. В работе [7] указано, что при вытяжке на механических прессах двойного действия скорость ползуна [ $V_{\partial}$ ] не должна превышать 250–400 мм/с.

Авторы приведенных работ не приводят данных о величине начальной скорости  $V_{нр}$  встречи инструмента с заготовкой (при угле поворота главного вала  $\alpha_{нр}$ ), однако в указанных и других работах указывается, что для увеличения стойкости и прочности инструмента эта скорость должна быть, во всяком случае, не больше максимальной скорости  $V_{рм}$  установившегося процесса. В работе [8] приведены данные по величине допустимой скорости ползуна в период рабочего хода при вытяжке и впервые указаны рекомендации по ограничению величины  $V_{нр}$ . Таким образом, для всех приведенных технологических операций изменение скорости ползуна может быть представлено в виде обобщенного графика, показанного на рис. 1. Значение начальной скорости составляет примерно 0,4–0,6  $V_{рм}$ . Скорость ползуна в период прямого  $V_{нх}$  и обратного  $V_{ох}$  хода влияния на процесс деформирования не оказывают и ограничиваются только кинематическими характеристиками механизма, например, величиной ускорения ползуна.

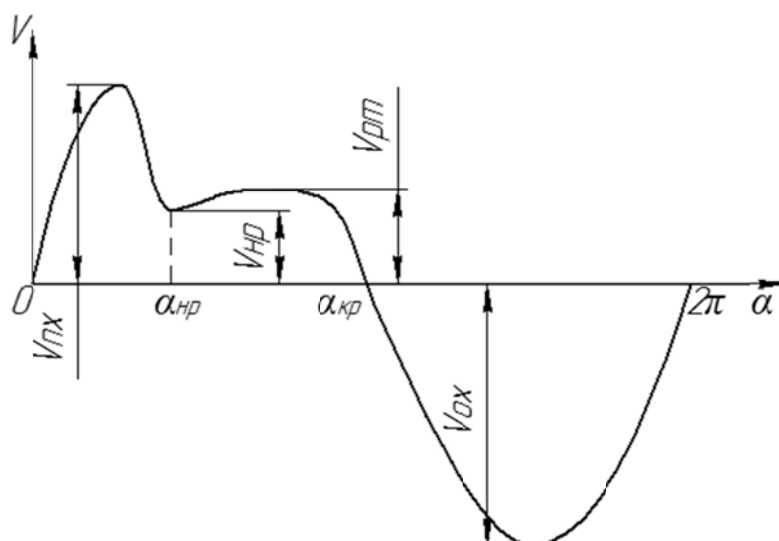


Рис. 1. Типовой график скорости ползуна специализированного прессы

Анализ приведенного графика показывают, что требуемый закон перемещения ползуна может быть обеспечен только специальным механизмом, что и обуславливает использование в специализированных прессах многозвенных рычажных и зубчато-рычажных механизмов [2, 4]. Основной особенностью всех многозвенных механизмов специальных прессов является то, что ползун через шатун соединяется со звеном предыдущего механизма в шарнире, совершающем сложное плоскопараллельное движение по специальной траектории, называемой *шатунной кривой*. На стадии структурного синтеза параметры шатунной кривой остаются неизвестными, однако можно установить ряд требований к ее форме. Шатунная кривая четырехзвенного механизма описывается алгебраическим уравнением 6-го порядка, следовательно, имеет с окружностью 2, 4 или 6 общих точек. Отсюда следует, что число точек перегибов кривой может быть равно 0, 2 или 4. При определенном соотношении параметров механизма возможно существование особых точек шатунной кривой: узловых точек, или точек самопересечения, точек возврата, точек излома и точек самоприкосновения. Очевидно, что наличие любых особых точек кривой приводит к ухудшению кинематических свойств механизма, прежде всего из-за увеличения величины и изменения знака ускорений в указанных точках. Поэтому одна из задач параметрического синтеза механизма состоит в определении такого множества постоянных параметров механизма, при которых особые точки шатунной кривой перестают существовать. Анализ кинематических схем механизмов, используемых в механических прессах, показывает, что наиболее предпочтительной и эффективной шатунной кривой является кривая в форме обычного (а) или двояковогнутого (б) эллипса, показанных на рис. 2.

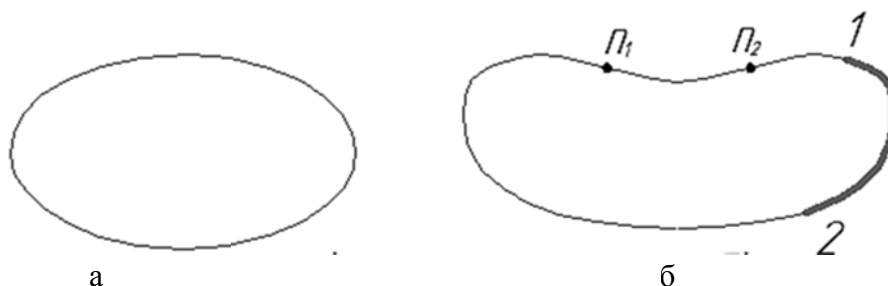


Рис. 2. Допустимые шатунные кривые

Точки перегиба  $n_1$  и  $n_2$  должны располагаться вне интервала угла поворота главного вала, соответствующего рабочему ходу ползуна  $\alpha \in [\alpha_{нр}, \alpha_{кр}]$ . На участке рабочего хода от точки 1 до точки 2 радиус кривизны шатунной кривой должен монотонно возрастать.

Указанным требованиям отвечают только некоторые механизмы, обеспечиваемые требуемый закон движения ползуна. На рис. 3 показана структурная схема главного механизма, используемая в вытяжных прессах фирм «Schuler» (ФРГ) и «Hitachi» (Япония) [9].

Траектория точки соединения шатуна показана на рис. 4, из которого следует, что требуемый закон движения будет обеспечен на участке поворота главного вала от точки 4 до точки 1 при вращении его против часовой стрелки, как показано на рис. 3.

На рис. 5 показана схема шестизвенного механизма внутреннего ползуна, используемая в вытяжных прессах многих зарубежных фирм «Clearing» (США), «Cleveland» (США), «Aida» (Япония) и др., а на рис. 6 показана его шатунная кривая. При вращении главного вала по часовой стрелке, как показано на рис. 5, замедление скорости ползуна обеспечивается на участке от точки 3 до точки 0.

Как следует из рисунков шестизвенный механизм, представленный на рис. 5, обеспечивая подобный характер движения главного ползуна, однако имеет гораздо более простую, и более надежную схему, отвечающую всем требованиям. По этой причине именно такой механизм имеет наибольшее применение в приводе главного ползуна современных вытяжных прессов современных зарубежных фирм.

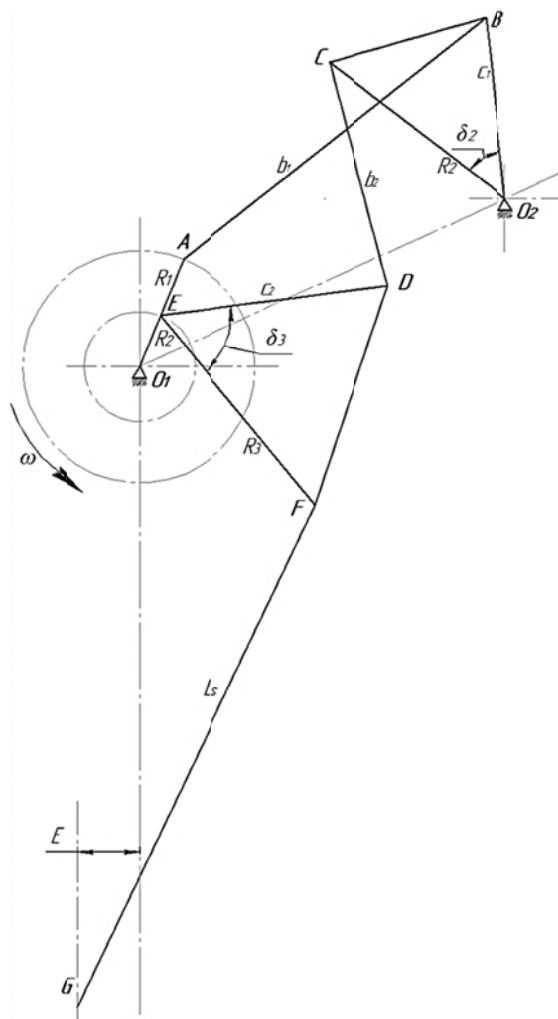


Рис. 3. Схема механизма внутреннего ползуна вытяжных прессов «Schuler» (ФРГ) и «Hitachi»

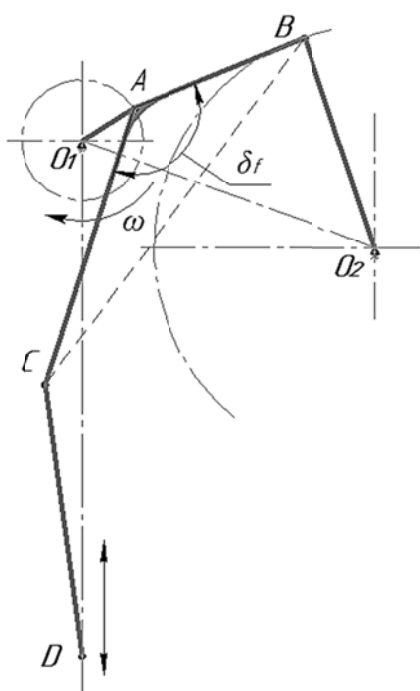


Рис. 4. Шатунная кривая внутреннего ползуна вытяжных прессов «Schuler» и «Hitachi»

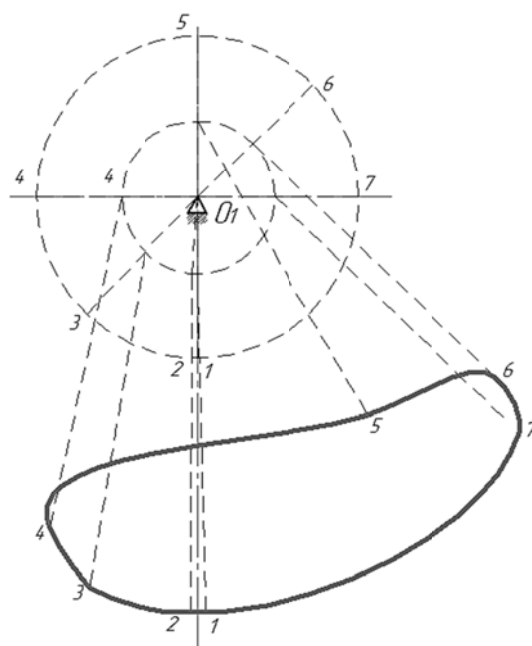


Рис. 5. Схема механизма внутреннего ползуна вытяжных прессов «Clearing», «Cleveland», «Aida»

Необходимо отметить, что многозвенные механизмы, используемые в прессах для холодной объемной штамповки, для холодного выдавливания и для чистовой вырубki также должны обеспечивать замедление скорости ползуна при рабочем ходе. Однако здесь задача упрощается тем, что требуется практически только снижение скорости контакта инструмента и заготовки. Учитывая, что длительность рабочего хода в таких прессах примерно на порядок меньше, чем в прессах для вытяжки, выравнивания скорости ползуна практически не происходит, и он после контакта инструмента с заготовкой продолжает замедленное движение до крайнего положения. Требуемый закон движения обеспечивается кривошипно-ползунным механизмом, в котором кривошип совершает качательное движение с приводом от дополнительного механизма.

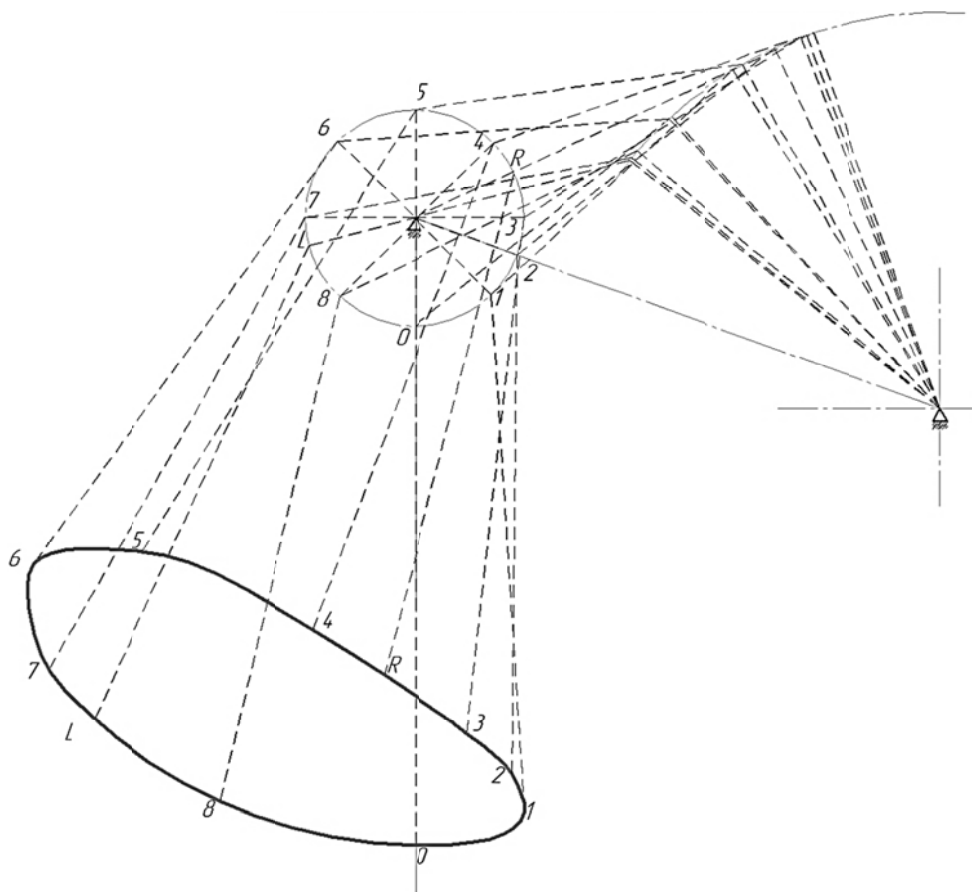


Рис. 6. Шатунная кривая механизма внутреннего ползуна вытяжных прессов «Clearing», «Cleveland», «Aida»

### ВЫВОДЫ

1. Структурный синтез главных механизмов специализированных прессов производится с учетом технологических и конструктивных требований и основным критерием синтеза является обеспечение специального закона движения главного ползуна, что обусловлено требованиями обеспечения определенного скоростного режима пластического деформирования металла.

2. Для операций горячей объемной штамповки и большинства операций листовой штамповки, выполняемых на универсальных прессах, особые требования к закону движения ползуна не предъявляются, поэтому в таких прессах используется наиболее простой и надежный кривошипно-ползунный механизм.

3. Для операций глубокой вытяжки, холодной объемной штамповки, чистовой вырубki требуется специальный закон движения ползуна, который состоит в обеспечении заданной скорости встречи инструмента с заготовкой и приблизительном ее постоянстве в течение рабочего хода.

4. Обеспечение указанного закона движения ползуна возможно только за счет использования специальных многозвенных рычажных или зубчато-рычажных механизмов, в которых требуемый закон обеспечивается движением ведущего шарнира шатуна по специальной шатунной кривой.

#### 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. Кривошипные кузнечно-штамповочные машины / В. И. Власов, А. Я. Борзыкин, И. К. Букин-Батырев [и др.] ; под ред. В. И. Власова. – М. : Машиностроение, 1982. – 424 с.
5. Фаворский В. Е. Холодная штамповка выдавливанием / В. Е. Фаворский – М. : Машиностроение, 1966. – 160 с.
6. Степанов Б. А. Специализированное кузнечно-прессовое оборудование / Б. А. Степанов – М. : МГИУ, 2005. – 212 с.
7. Тынянов В. Н. Эксплуатация кривошипных прессов двойного действия / В. Н. Тынянов, В. Ф. Федоркевич, И. Н. Филькин. – М. : Машиностроение, 1968. – 164 с.
8. Müller S. Gesichtspunkte für die Gestaltung von Kurbel – und Tiefziehpressen / S. Müller // Maschinenbautechnik, 21, 1972. – № 4. P. 170–174.
9. Metal forming handbook / Schuler. – Berlin; Heidelberg; New York etc. : Springer 1998. – 563 p.

#### REFERENCES

1. Zhivov L. I. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie : Uchebnik dlja vuzov / L. I. Zhivov, A. G. Ovchinnikov, E. N. Skladchikov / Pod red. L. I. Zhivova. – M. : Izd-vo MGTU, 2006. – 560 s.
2. Bocharov Ju. A. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie : Uchebnik dlja vuzov / Ju. A. Bocharov. – M. : Izdatel'skij centr «Akademija», 2008. – 480 s.
3. Svistunov V. E. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie. Krivoshipnye pressy / V. E. Svistunov. – M. : MGIU, 2008. – 704 s.
4. Krivoshipnye kuznechno-shtampovochnye mashiny / V. I. Vlasov, A. Ja. Borzykin, I. K. Bukin-Batyrev [I dr.] ; pod red. V. I. Vlasova. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 424 s.
5. Favorskij V. E. Holodnaja shtampovka vydavlivaniem / V. E. Favorskij – M. : Mashinostroenie, 1966. – 160 s.
6. Stepanov B. A. Specializirovanное kuznechno-pressovoe oborudovanie / B. A. Stepanov – M. : MGIU, 2005. – 212 s.
7. Tynjanov V. N. Jekspluatacija krivoshipnyh pressov dvojnogo dejstvija / V. N. Tynjanov, V. F. Fedorkevich, I. N. Fil'kin. – M. : Mashinostroenie, 1968. – 164 s.
8. Müller S. Gesichtspunkte für die Gestaltung von Kurbel – und Tiefziehpressen / S. Müller // Maschinenbautechnik, 21, 1972. – № 4. R. 170–174.
10. Metal forming handbook / Schuler. – Berlin; Heidelberg; New York etc. : Springer 1998. – 563 p.

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

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

E-mail: [ayav2008@yandex.ru](mailto:ayav2008@yandex.ru)