

УДК 621.979.134.048.8

Степанов Б. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ШТАМПОДЕРЖАТЕЛЕМ

В машиностроительной продукции более 30 % номенклатуры занимают тонкостенные осеасимметричные детали типа зубчатых колес, дисков, конусных чашек и т. п., изготовление которых на КГШП связано с относительно большим расходом металла и низкой стойкостью штампов вследствие высоких давлений, необходимых для протекания деформации и преодоления сил трения [1]. Технологические силы штамповки и контактные нагрузки на инструменты могут быть многократно снижены при штамповке комбинированным нагружением путем воздействия на металл одновременно осевой силой и крутящим моментом при вращении инструмента во время штамповки [2]. Такая технология получила название штамповки с кручением и реализуется на специализированных прессах с вращающимся штамподержателем [3].

Целью работы является описание конструкций кривошипных специализированных прессов с вращающимся штамподержателем и вывод формул, которые позволяют определить кинематический параметр, необходимый для расчета силовых и энергетических характеристик штамповки с кручением, реализуемой на данном оборудовании.

При создании специализированных КГШП использован винтовой механизм, отличающийся компактностью и способностью передавать большие силы и крутящие моменты. Принцип действия такого механизма основан на опережающем перемещении гайки относительно винта, образующих винтовую несамотормозящую пару, что вызывает вращение последнего. Перемещение гайки и винта осуществляется с помощью внутреннего и наружного ползунов (рис. 1). По одной схеме (а) внутренний ползун взаимодействует с винтом, а гайка встроена в наружный ползун по другой (б) наоборот, гайка встроена во внутренний ползун, а винт взаимодействует с наружным ползуном. Винт и гайка, совершают прямолинейные поступательные движения со скоростями v_1 (винт) и v_2 (гайка). Т. к. скорость гайки v_2 больше скорости винта v_1 , происходит вращение винта с угловой скоростью ω_B :

$$\omega_B = (v_2 - v_1) \cdot \frac{2\pi}{S_B},$$

где S_B – ход винтовой нарезки.

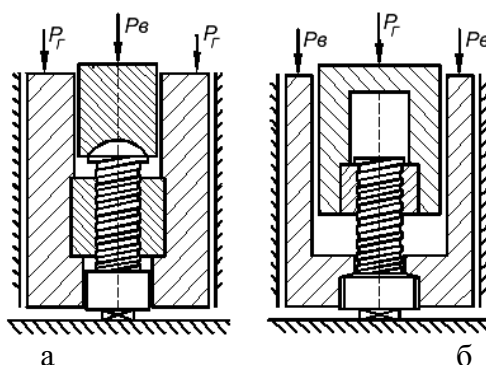


Рис. 1. Схемы винтового механизма для штамповки с кручением

Исследования пластического течения металла при штамповке с кручением [4–5] показывают, что технологическая сила определяется кинематическим параметром λ – отношением угловой (ω) и поступательной (v) скоростей инструмента: $\lambda = \omega/v$. Чем больше кинематический параметр λ , тем больше снижение технологической силы.

Технологическая сила P_T штамповки складываются из силы P_B , действующей на винт, и силы P_G , действующего на гайку:

$$P_m = P_B + P_G. \quad (1)$$

Сила P_G зависит от технологического момента M_T :

$$P_G = M_T \cdot \frac{S_B}{2\pi \cdot \eta}, \quad (2)$$

где η – КПД винтовой пары.

Для обеспечения кинематики рабочего хода пресс должен иметь два главных исполнительных механизма: для поступательного перемещения винта и поступательного перемещения гайки, кинематически связанных между собой. На рис. 2 представлена конструктивная схема кривошипного пресса, с винтовым механизмом, выполненным по рис. 1, а. Перемещение ползунов обеспечивается двумя кривошипно-ползунными механизмами, включающими трехэксцентрикый вал 1, центральный шатун 2, взаимодействующий с центральным эксцентриком 10 и внутренним ползуном 3, и два боковых шатуна 6, взаимодействующих с боковыми эксцентриками 11 и наружными ползуном 5.

Центральный эксцентрик развернут относительно боковых эксцентриков в направлении вращения эксцентриквого вала на угол γ . Центральный эксцентрик 10, шатун 2 и винт 4 образуют исполнительный механизм поступательного перемещения штамподержателя. Боковые эксцентрики 11, шатуны 6 и ползун 5 с гайкой 7 образуют исполнительный механизм вращения штамподержателя.

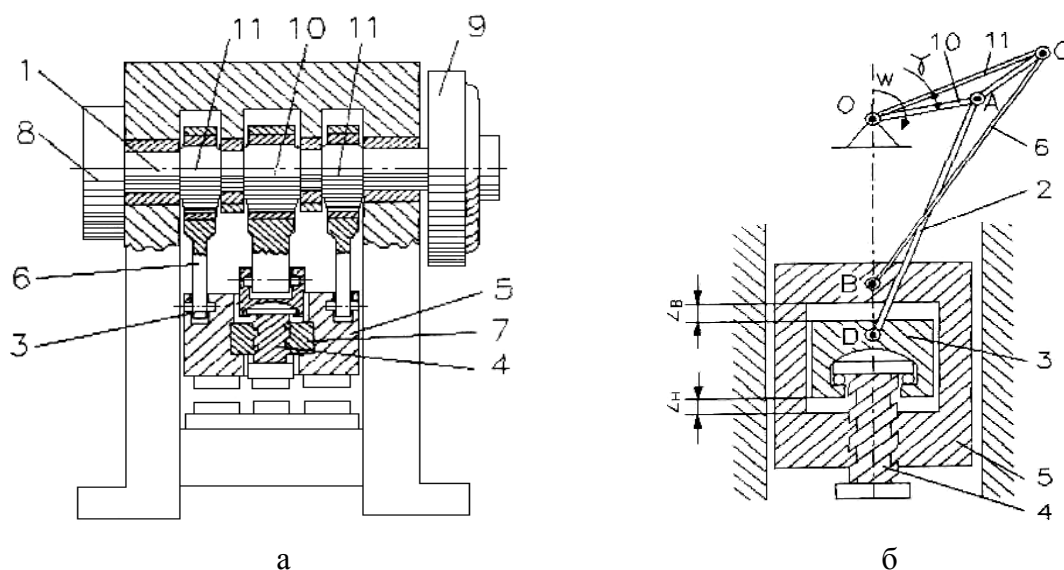


Рис. 2. Конструктивная (а) и расчетная (б) схема кривошипного трехэксцентриквого пресса

Разворот эксцентриков смещает по фазе скорости поступательного перемещения гайки и винта и вызывает тем самым вращение штамподержателя с угловой скоростью ω_B , пропорциональной разности скоростей поступательного перемещения гайки и винта. Направление разворота обеспечивает во время штамповки опережающие движения гайки по отношению к винту, а угол разворота выбирается достаточным для получения технологически заданных параметров штамповки. В процессе штамповки скорость v_1 поступательного перемещения штамподержателя уменьшается, а его скорость вращения ω_B увеличивается, т. е. штамповка протекает с увеличивающимся отношением ω / v .

Скорости поступательного перемещения ползунов v_1 и v_2 найдутся по формулам:

$$v_1 = \omega \cdot r \left(\sin \alpha - \frac{1}{2} \lambda_1 \cdot \sin 2\alpha \right); \quad v_2 = \omega \cdot r \left[\sin(\alpha - \gamma) - \frac{1}{2} \lambda_2 \sin 2(\alpha - \gamma) \right], \quad (3)$$

а угловая скорость винта ω_B по формуле:

$$\omega_B = \omega \cdot r \left[\sin(\alpha - \gamma) - \sin \alpha - \frac{1}{2} (\lambda_2 \cdot \sin 2(\alpha - \gamma) - \lambda_1 \cdot \sin 2\alpha) \right] \cdot \frac{2\pi}{S_B}. \quad (4)$$

Полученные формулы позволяют определить кинематический параметр прессы λ :

$$\lambda = \frac{\omega_B}{v_1} = \left(\frac{2 \sin(\alpha - \gamma) - \lambda_2 \cdot \sin 2(\alpha - \gamma)}{2 \sin \alpha - \lambda_1 \cdot \sin 2\alpha} - 1 \right) \cdot \frac{2\pi}{S_B}. \quad (5)$$

Разворот эксцентриков относительно друг друга снижает прочность эксцентрикового вала. КГШП с вращающимся штамподержателем можно выполнить с гладким валом. В основу разработки такого прессы принята конструкция прессы с кривошипно-кулисным механизмом. К достоинствам КГШП с таким механизмом относятся высокая жесткость прессы, компактность конструкции и увеличенная база по направляющим ползунам. Конструктивная схема кривошипно-кулисного прессы представлена на рис. 3, а.

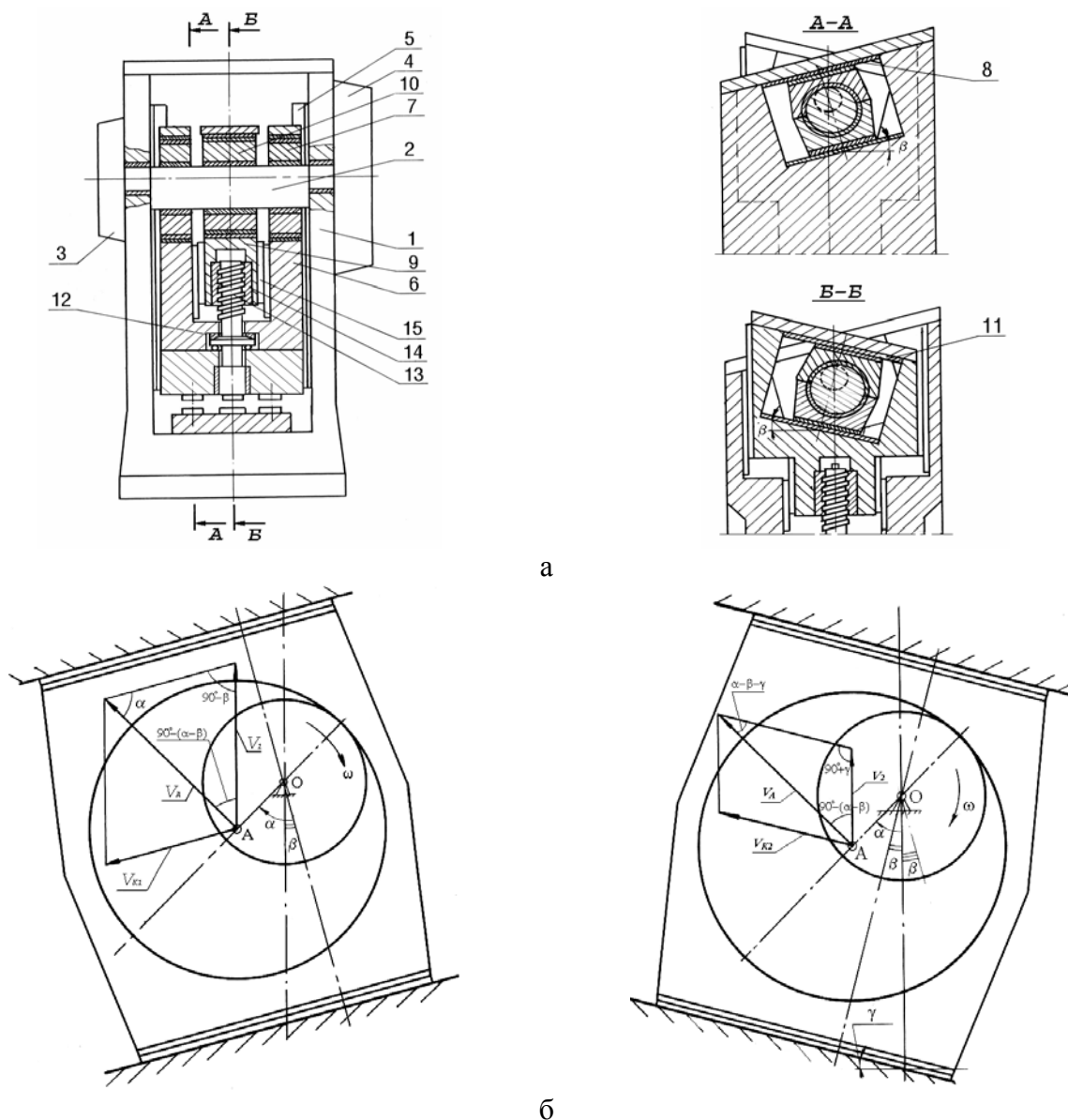


Рис. 3. Конструктивная (а) и расчетная (б) схемы кривошипного прессы

В направляющих 5 станины установлен наружный ползун 6, внутри которого размещен кулисный камень 7, имеющий возможность поступательного перемещения в направляющих 8. В направляющих 15 наружного ползуна 6 установлен внутренний ползун 9, в котором размещен кулисный камень 10, имеющий возможность поступательного перемещения в направляющих 11. Кулисные камни 7 и 10 сочленяются с эксцентриковым валом 2. Направляющие 11 кулисного камня 10 внутреннего ползуна повернуты относительно направляющих 8 кулисного камня 7 наружного ползуна в направлении вращения кривошипного вала на угол 2β . В наружном ползуне 6 установлен подпятник 12, который сочленяется с верхним торцом винта 13, образующим винтовую несамотормозящую пару с гайкой 14, закрепленной во внутреннем ползуне 9.

Вращательное движение кривошипного вала 2 посредством эксцентрика и кулисных камней 7 и 10 преобразуется в поступательное движение наружного 6 и внутреннего 9 ползун. Вследствие разворота направляющих 8 и 11 кулисных камней относительно друг друга на угол 2β наружный и внутренний ползуны перемещаются с разными скоростями, что обеспечивает вращательно-поступательное движение винта 13 и закрепленного на нем инструмента. Таким образом, разворот направляющих кулисных камней выполняет ту же роль, что и разворот эксцентриков в кривошипном прессе на рис. 2.

На рис. 3, б представлены расчетные схемы кривошипно-кулисных механизмов в произвольном положении эксцентрика $OA = r$ (где r – радиус эксцентрика, повернутого на угол α). За начало отсчета принято крайнее верхнее положение наружного ползуна. Движение т. A – центра эксцентрика абсолютное по отношению к неподвижному центру O (скорость V_A) складывается на относительное движение кулисного камня вдоль его направляющих (скорость V_{KI}) и на переносное движение вместе с ползуном вдоль его направляющих (скорость V_I). Скорости (V_1 и V_2) и перемещения (S_1 и S_2) в зависимости от угла поворота α кривошипного вала определяются с помощью теоремы синусов:

$$\begin{aligned} v_1 &= \omega \cdot r \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}; & S_1 &= \frac{r}{\cos \beta} (1 - \cos \alpha); \\ v_2 &= \omega \cdot r \cdot \frac{\sin(\alpha - 2\beta)}{\cos \gamma}; & S_2 &= \frac{r}{\cos \gamma} [1 - \cos(\alpha - 2\beta)]. \end{aligned} \quad (6)$$

Угловые перемещения φ_B и в скорости ω_B винта определяются по формулам:

$$\varphi_B = \frac{4\pi \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta}{S_B} \cdot \sin(\alpha - \beta); \quad \omega_B = \frac{4\pi \cdot r \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \beta}{S_B} \cdot \cos(\alpha - \beta). \quad (7)$$

Кинематический параметр штамповки для данного пресса имеет вид:

$$\lambda = \frac{\omega_B}{v_1} = \frac{\pi \cdot \sin \beta \cdot \sin(\alpha - \beta)}{S_B \cdot \sin \alpha}. \quad (8)$$

Основное требование, предъявляемое к КГШП – обеспечение точного совмещения верхнего и нижнего инструмента, что достигается большой базой по направляющим ползуна. Однако увеличение высоты ползуна ограничивается конструкцией пресса, в связи с чем ползун выполняет с хоботом, на конце которого закреплена ползушка, имеющая дополнительные направляющие. На базе такой компоновки пресса разработана конструкция КГШП с вращающимся штамподержателем (рис. 4, а).

Поступательное перемещение винта 4 обеспечивается кривошипно-ползунным механизмом, включающим в себя кривошипный вал 7 с эксцентриком 10 и шатуном 6. Ползун 2 с закрепленным на нем гайкой 3 перемещается от кривошипно-ползунного механизма, образованного кривошипным валом 7 с эксцентриком 10, шатунами 12 и ползушкой 13. Последняя жестко связана с ползуном 2 посредством хобота 14.

Как видно из кинематической схемы прессы (рис. 4, б) исполнительный механизм представляет собой совокупность двух кривошипно-шатунных механизмов: прямого аксиального OAB , связанного с внутренним ползуном, и обратного дезаксиального OAC , связанного с наружным ползуном посредством дополнительного звена (хобота). Параметры движения наружного ползуна: перемещение S_2 и скорость V_2 определяются по формулам:

$$S_2 = \sqrt{(\ell_2 - r)^2 - e^2} - \ell_2 \cdot \cos \gamma - r \cdot \cos \alpha; \quad e = r \cdot \sin \alpha + \ell_2 \cdot \sin \gamma; \quad (9)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{e \cdot r \cdot \sin \alpha}{\ell_2}; \quad v_2 = \omega \cdot r (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma).$$

Угловая скорость винта определяется по формуле:

$$\omega_B = (V_1 - V_2) \cdot \frac{2\pi}{S_B} = \frac{2\pi \cdot \omega \cdot r}{S_B} \cdot \cos \alpha \cdot (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \beta). \quad (10)$$

Расчет кинематического параметра штамповки λ можно выполнить по формуле:

$$\lambda = \frac{\omega_B}{v_1} = \frac{2\pi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \beta)}{S_B \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta)}. \quad (11)$$

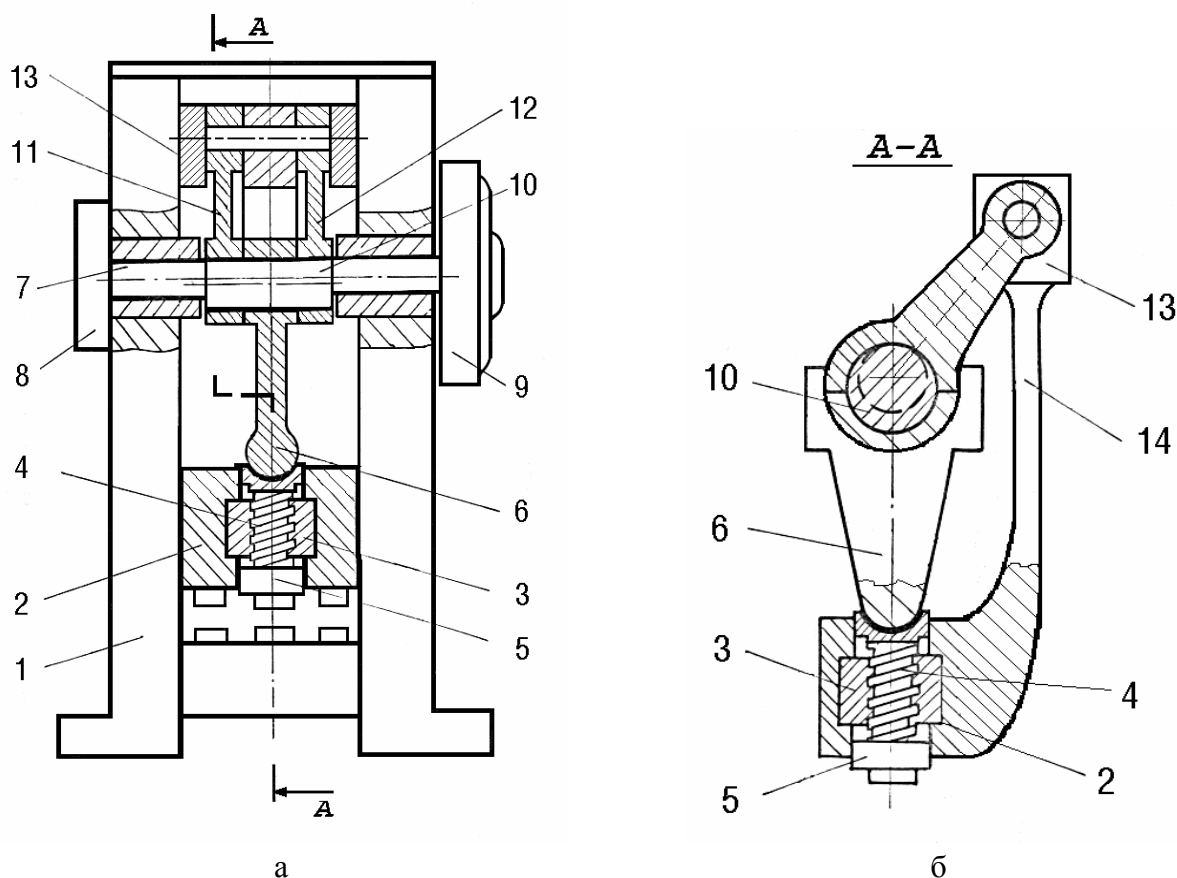


Рис. 4. Конструктивная (а) и кинематическая (б) схемы КГШП с хоботом ползуна

На основании проведенного анализа выполнены расчеты штамповки на специализированном КГШП (рис. 2) силой 10МН поковки автомобиля ЗИЛ «Каретка синхронизатора». На рис. 5 представлены графики изменения силы Pm в зависимости от угла поворота α эксцентрикового вала для значений угла разворота эксцентриков: 1 – $\gamma = 20^\circ$; 2 – $\gamma = 30^\circ$; 3 – $\gamma = 40^\circ$. С увеличением угла разворота β увеличивается технологический параметр кручения λ , что вызывает снижение максимальной силы штамповки.

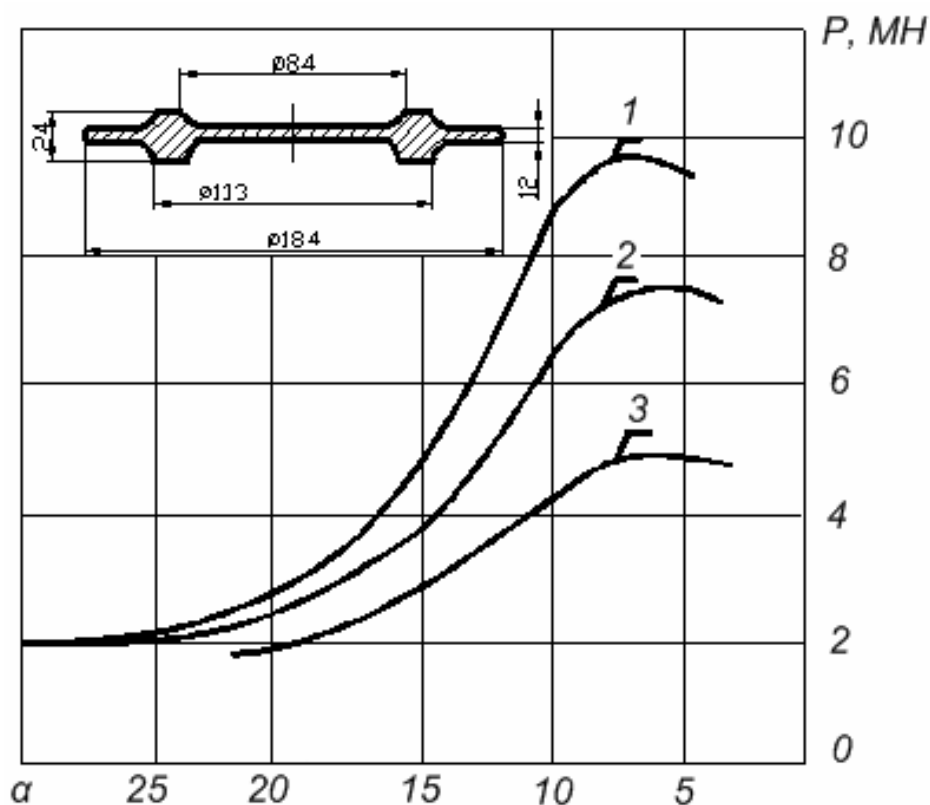


Рис. 5. Графики изменения силы при штамповке поковки «Каретка синхронизатора» в зависимости от угла поворота эксцентров:
 1 – $\beta = 20^\circ$; 2 – $\beta = 30^\circ$; 3 – $\beta = 40^\circ$

ВЫВОДЫ

Разработаны конструкции специализированных КГШП с вращающимся штамподержателем. Выполненные кинематические расчеты позволяют определить кинематический параметр штамповки методом осадки с кручением, необходимый для расчета технологических параметров штамповки. Проведенный анализ показал влияние конструктивных параметров прессы на силовые характеристики техпроцесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Субич В. Н. Расчет и проектирование технологических процессов объемной штамповки на прессах / В. Н. Субич. – М. : МГИУ-2003. – 80 с.
2. Штамповка с кручением / В. Н. Субич, В. А. Демин, Н. А. Шестаков, А. В. Власов. – М. : МГИУ, 2007. – 411 с.
3. Живов А. Н. Кузнечно-штамповочное оборудование / А. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков. – М. : Машиностроение, 2003. – 260 с.
4. Степанов Б. А. Изготовление осесимметричных поковок штамповкой с кручением / Б. А. Степанов, В. Н. Субич, А. Е. Максименко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – № 2. – С. 12–14.
5. Демин В. А. Теоретические и экспериментальные исследования процессов штамповки с кручением / В. А. Демин, Н. А. Шестаков // Известия МГИУ. Серия «Естественные и технические науки». – 2006. – № 5. – С. 16–22.

Степанов Б. А. – канд. техн. наук, проф. МГИУ.

МГИУ – Московский государственный индустриальный университет, г. Москва, Россия.

E-mail: shes-v@mail.msiu.ru