

УДК 621.979

Степанов Б. А.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТАМПОВКИ С КРУЧЕНИЕМ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ШТАМПОДЕРЖАТЕЛЕМ

Технологические силы штамповки и контактные нагрузки на инструмент могут быть многократно снижены, если вместо традиционной штамповки на универсальном оборудовании применять штамповку комбинированным нагружением металла путём воздействия на него одновременно осевой силой и крутящим моментом. Такое нагружение реализуется при штамповке с кручением, когда инструмент совершает одновременно поступательное и вращательное движения, воздействуя тем самым на заготовку нормальной силой и крутящим моментом. Данный метод штамповки принципиально изменяет механику контактного трения и вызывает интенсивные сдвиговые деформации. Трение, препятствующее течению металла при обычной штамповке и потому являющееся вредным, становится активным и полезным при штамповке с кручением, а сдвиговые деформации в тангенциальном направлении вызывают качественную проработку материала изделий. При комбинированном нагружении достигается также улучшение структуры металла вследствие интенсивных сдвиговых деформаций, лучшая заполняемость металлом гравюры штампа и уменьшение отходов на облой, а также повышение точности получаемых изделий [1, 2].

Целью данной работы является исследование технологического процесса штамповки с кручением на специализированном гидравлическом прессе с вращающимся штамподержателем.

Для реализации технологии штамповки осадкой с кручением разработан специализированный гидравлический пресс с вращающимся штамподержателем на базе серийного гидропресса модели П2940 силой 10 МН [3], конструктивная схема которого представлена на рис. 1. Рабочий гидроцилиндр 8 встроен в столе пресса, а в верхней поперечине с возможностью вращения штамподержатель 9. Последний получает вращательное движение от смонтированных на верхней поперечине станины гидромоторов 4 посредством зубчатой передачи. Вначале, когда жидкость подается в гидроцилиндр 8, происходит осадка заготовки поступательно перемещающимся инструментом. В заданный момент осадки по сигналу датчика 12 открывается клапан 11, и жидкость начинает поступать к гидромоторам. С этого момента начинается штамповка с кручением. В случае индивидуального насосного привода вращение штамподержателя неограниченно.

Расчетная схема пресса, представленная на рис. 2, приводится к динамической модели двухмассовой системы, приводимой в движение от насосно-аккумуляторного привода. Первая система поступательно перемещающихся деталей пресса включает в себя плунжер силового гидроцилиндра с присоединенными к нему деталями общей массой m . Вторая система вращающихся деталей пресса включает в себя штамподержатель и зубчатое колесо, соединенные валом (момент инерции J_{κ}), и приводные шестерни, посаженные на роторы гидромоторов (момент инерции J_{μ}). Рабочая жидкость давлением P_a подается из аккумулятора A к силовому гидроцилиндру Γ и гидромоторам M .

Уравнения движения поступательно перемещающейся и вращающейся систем имеют вид:

$$m \frac{dv}{dt} = P_{\text{ц}} \times \frac{\pi}{4} \times D_{\text{ц}}^2 \times \eta_{\text{ц}} - P_{\Gamma} - m \times g; \quad (1)$$

$$J_{\text{нп}} \frac{d\omega}{dt} = P_{\Gamma} \times \frac{M_{\text{н}}}{P_{\text{н}}} \times i \times N - M_{\Gamma} - M_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где $P_{ц}$ и $P_{Г}$ – давление соответственно в гидроцилиндре и гидромоторе;

$\eta_{ц}$ – к.п.д. гидроцилиндра;

$P_{н}; M_{н}$ – номинальное давление и номинальный момент (момент при давлении $P_{н}$) гидромоторов;

$P_{Т}; M_{Т}$ – технологическая сила и технологический момент штамповки (эти параметры рассчитывались на методике, изложенной в работе [1]);

$M_{f} = f_{к} \times r_{к} \times P_{Т}$ – момент трения в подшипнике качения при радиусе качения $r_{к}$ и коэффициент трения $f_{к}$;

N – число гидромоторов;

$J_{np} = J_{к} + J_{ш} \times i^2$ – приведенный момент инерции вращающихся масс.

Для движущихся частей пресса принимаются следующие константы:

$m = 5,33 \times 10^3 \text{ Нс}^2/\text{м}$; $J_{np} = 1068 \text{ Нмс}^2$; крутящий момент штамподержателя

$M_0 = 1,6 \times 10^5 \text{ Нм}$.

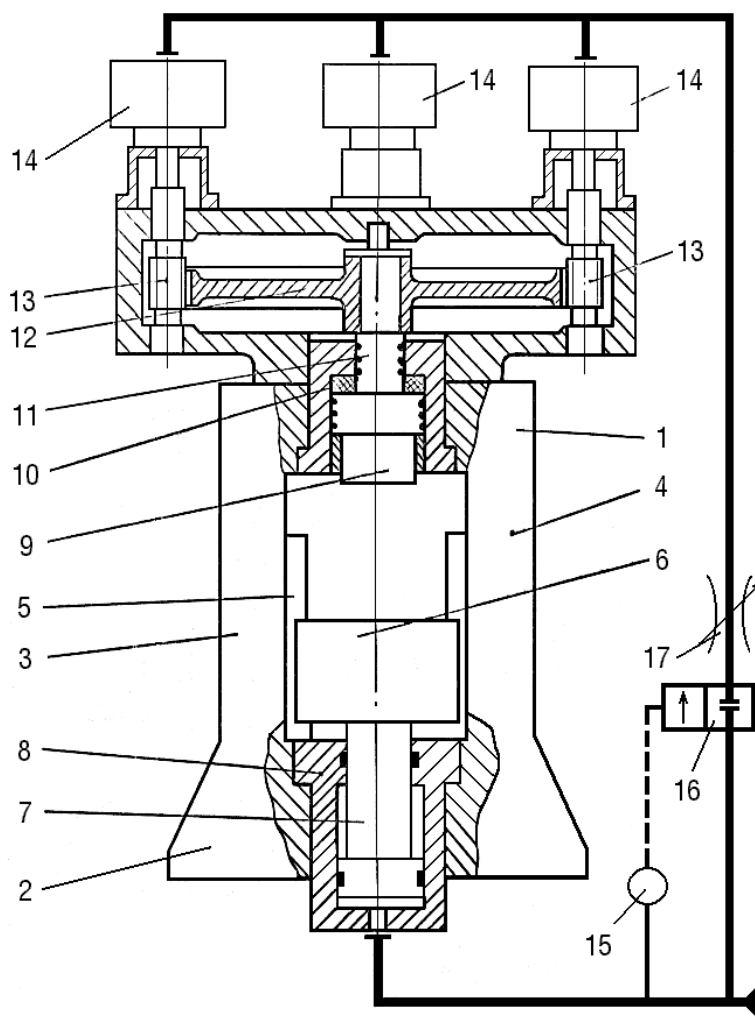


Рис. 1. Конструктивная схема специализированного гидравлического пресса:

1 – станина; 2 – зубчатое колесо; 3 – шестерня; 4 – гидромоторы; 5 – вал; 6 – ползун; 7 – клапан; 8 – цилиндр; 9 – штамподержатель; 10 – подшипник; 11 – клапан; 12 – датчик; 13 – дроссель

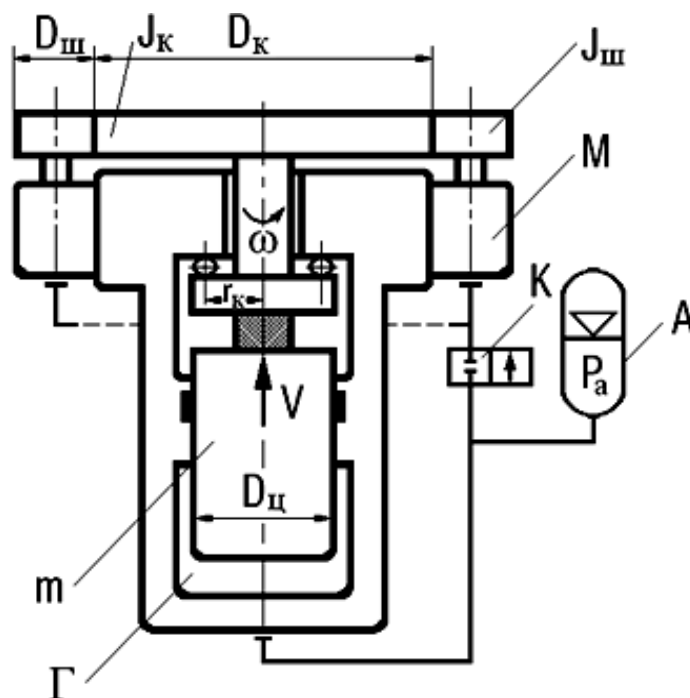


Рис. 2. Расчетная схема прессы

Моделирование проводилось по следующей методике. Заготовка из стали 18ГТ с исходными размерами: $d_0 = 60$ мм и $h_0 = 98$ мм осаживалась до размеров $d_k = 210$ мм; $h_k = 8$ мм, в два этапа. Первый этап-осадка без кручения до размеров $d_1 = 148$ мм; $h_1 = 16$ мм; второй этап-осадка с кручением. В момент, когда размеры заготовки достигают величины d_1 , h_1 включаются гидромоторы и начинается вращение штамподержателя. Процесс продолжается до тех пор, пока заготовка не достигнет размеров d_k , h_k . Принимается давление в гидравлическом цилиндре с учетом потерь в трубопроводах постоянным $P = 18$ МПа. Давление в гидромоторах меняется с помощью дросселя в зависимости от режима штамповки: 1 – $P_{ГМ} = 12$ МПа; 2 – $P_{ГМ} = 15$ МПа; 3 – $P_{ГМ} = 18$ МПа.

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 3, на котором изображены графики изменения линейной V и угловой ω скоростей, а также силы деформирования P_T в зависимости от изменения высоты осаживаемой заготовки h по мере перемещения ползуна. График разделен на две части: 1 – осадка поступательно перемещающимся инструментом с высоты заготовки $h_0 = 98$ мм, до высоты $h_1 = 16$ мм; 2 – осадка заготовки поступательно перемещающимся ползуном и вращающимся штамподержателем (осадка с кручением) с высоты $h_1 = 16$ мм до высоты $h_k = 8$ мм.

Осадка без кручения характеризуется резким возрастанием скорости деформирования от нуля при $h_0 = 98$ мм до $V_{\max} = 182$ мм/с при $h = 60$ мм. В дальнейшем происходит падение скорости вследствие увеличения диаметра заготовки и скоростного упрочнения металла. Скорость вращения штамподержателя ω характеризуется возрастанием в первой стадии осадки с кручением (1– $\omega_{\max} = 6,05$; 2– $\omega_{\max} = 8,1$; 3– $\omega_{\max} = 10,7$) и падением в конце осадки (1– $\omega_k = 3,8$; 2– $\omega_k = 5,7$; 3– $\omega_k = 8,5$).

Технологическая сила зависит от параметра кручения $q = \frac{\omega \times D_3}{v \times 2V_3}$. С увеличением

диаметра заготовки и отношения ω/V технологическая сила P_T уменьшается. Наибольшее снижение силы P_T происходит в третьем режиме осадки с кручением, т. к. этот режим

протекает с максимальным вращением штамподержателя. Максимальная сила осадки с кручением снижается по сравнению с обычной осадкой в 1,3–1,87 раза в зависимости от режима осадки. Для конечной стадии осадки эти цифры составляют 2–3,1.

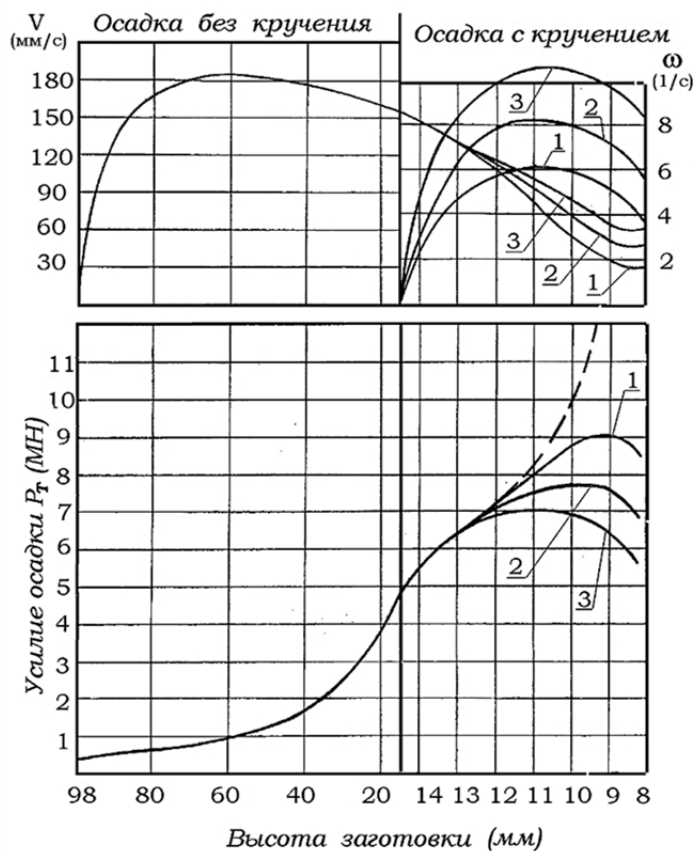


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования

ВЫВОДЫ

Проведенное на основе компьютерного моделирования исследование специализированного гидравлического пресса с вращающимся штамподержателем показало, что силовые параметры штамподержателя с кручением зависят от кинематических параметров оборудования. Вращение штамподержателя приводит к снижению максимальной силы осадки в 1,3–1,87 раза. Конечная стадия осадки характеризуется падением силы осадки, что делает снижение силы по сравнению с обычной осадкой в 2–3 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штамповка с кручением // В. Н. Субич, В. А. Демин, М. А. Шестаков, А. В. Власов. – М.: издат. МГИУ, 2008. – 389 с.
2. Михайленко Ф. П. Исследование напряженно-деформированного состояния и удельных нагрузок при осадке с кручением и без кручения заготовок из алюминиевых сплавов / Ф. П. Михайленко, Д. А. Щербатов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2008. – № 10. – С. 3–13.
3. А. с. 1451049 (СССР). Гидравлический пресс для штамповки с кручением / О. А. Ганаго, Б. А. Степанов, В. Н. Субич [и др.]. – № 3441258; заявл. 04.06.1982; опубл. 1989; Бюл. № 2. – С. 63.

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

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

E-mail: lvq1@mail.msiu.ru

Статья поступила в редакцию 17.01.2012 г.