

УДК 621.647.23

Пыц В. Я.¹
Клименко Г. П.**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИВОШИПНОГО ПРЕССА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОТШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Особенностью кривошипных прессов являются жесткий ход ползуна, перемещение которого при работе пресса обуславливается положением звеньев главного исполнительного механизма.

В процессе штамповки разница между геометрическими размерами полученной поковки и заданными ее размерами зависит от упругой деформации пресса, которая определяется жесткостью самого пресса и силой деформирования, необходимой для завершения технологической операции.

При условии постоянства величины жесткости технологической оснастки и жесткости самого пресса точность поковок зависит от силы деформирования. В свою очередь на силу деформирования при выполнении технологического процесса основное влияние оказывают температура и объем штампуемой поковки. Следовательно, высота отштампованной поковки будет отличаться от заданной на величину упругой деформации пресса в зависимости от изменения температуры и объема заготовки.

Во время проектирования кривошипных прессов их жесткость определяется с учетом влияния последней на параметры как пресса, так и технологического процесса. В паспортных данных, так же как и в технической литературе, значения жесткости кривошипных прессов приводятся в зависимости от технологического назначения и номинальной силы пресса.

Целью данной статьи является экспериментальное исследование влияния жесткости пресса на величину отштампованной детали и возможные пути повышения точности отштампованных деталей, за счет динамически изменяющейся закрытой высоты в ходе выполнения технологического процесса.

Жесткость кривошипного пресса C может быть определена по зависимости:

$$C = 5 \cdot (1 + a) \cdot \frac{P_n^2}{T}, \quad (1)$$

где P_n – номинальная сила пресса

T – кинетическая энергия, расходуемая прессом на ходе деформирования;

a – коэффициент, определяющий потери энергии на трение с учетом геометрических параметров кинематических пар пресса и условия их эксплуатации [1]:

$$a = \frac{1 - \eta_M}{\eta_M} = \frac{1}{\eta_M} - 1, \quad (2)$$

где η_M – механический КПД пресса (определяет потери энергии на трение в кинематических парах пресса).

Величина жесткости пресса, рассчитанная по выражению (1), обеспечивает необходимую величину допустимой полезной работы деформирования при номинальной силе пресса P_n с учетом КПД хода деформирования η_M .

Общую полезную работу деформирования в зависимости от общей затраченной энергии T при выполнении процесса деформирования до силы P_0 можно определить [2]:

$$A_D = \frac{1}{1+a} \cdot T - \frac{P_0^2}{2 \cdot C}. \quad (3)$$

Для этих же условий КПД хода деформирования можно определить:

$$\eta_D = \frac{1}{1+a} - \frac{P_0^2}{2 \cdot C \cdot T}. \quad (4)$$

¹ Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Роганова Л. Л.

Кинетическая энергия $T_{ум}$, необходимая для нагружения прессы номинальной силой P_H , характеризуется энергетическими показателями кривошипного прессы:

$$T_{ум} = (1 + a) \cdot \frac{P_H^2}{2 \cdot C}. \quad (5)$$

В случае необходимости сравнения различных конструкций кривошипных прессов, у которых номинальная сила равна, энергетические показатели кривошипных прессов определяются безразмерными величинами относительно кинетической энергии \bar{T} и относительным КПД хода деформирования $\bar{\eta}_d$:

$$\bar{T} = \frac{T}{T_{ум}}; \quad \bar{\eta}_d = \frac{\eta_d}{\eta_m}. \quad (6)$$

Преобразуя уравнение (6), определим $T = \bar{T} \cdot T_{ум}$ и $\eta_d = \bar{\eta}_d \cdot \eta_m$, а после подстановки в уравнение (5) получим относительный КПД хода деформирования в зависимости от относительной кинетической энергии прессы:

$$\bar{\eta}_d = 1 - \frac{1}{\bar{T}}. \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) и графика зависимости $\bar{\eta}_d(\bar{T})$ (см. рис. 1) показывает, что до значений $T = 1 \dots 8$ кН относительный КПД $\bar{\eta}_d$ интенсивно увеличивается, после чего рост $\bar{\eta}_d$ снижается и при изменении \bar{T} от 9 кН до 15 кН увеличение $\bar{\eta}_d$ соответствует 3,6 %, что характеризует высокие значения жесткости прессы и небольшие потери энергии на трение в кинематических парах прессы. Из выше перечисленного можно рекомендовать для кривошипных прессов значения относительной энергии $\bar{T} = 6-8$ и $\bar{\eta}_d = 0,875-0,9$. Тогда при $\bar{\eta}_d = 0,9$; $P_d = P_H$ и $\eta_m = 0,85-0,9$ мы получаем достаточно высокие значения $\eta_d = 0,76-0,85$.

В кривошипном прессе номинальной силы $P_H = 16000$ кН при рекомендуемой норме жесткости $C = 6240$ МН и допустимой энергии деформирования $T = 228$ кДж [3] затраты энергии на упругую деформацию прессы и трение в кинематических парах составляют $T_{ум} = 22,77$ кН, что обеспечивает высокие энергетические показатели, соответствующие $T = 9$ кН и $\bar{\eta}_d \cong 0,9$. При этом уменьшение жесткости прессы оказывает незначительное влияние на потери энергии. При уменьшении жесткости прессы в два раза увеличивается упругая деформация и трение в кинематических парах, что в свою очередь повлечет за собой увеличение потерь энергии примерно на 4,8 %.

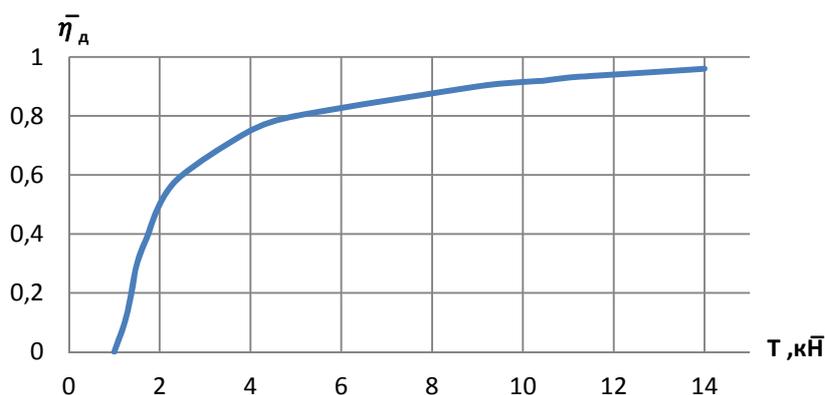


Рис. 1. Относительный КПД хода деформирования

Из вышесказанного следует, что на точность заданных размеров при равных показателях характеристик прессы влияет сила деформирования, которая достигается в конце хода ползуна прессы, которая, в свою очередь, определяется многими факторами, характеризующими технологический процесс. К основным факторам, влияющим на силу деформирования при выполнении технологического процесса, можно отнести:

- колебание температуры – ΔT °С;
- объем штампуемой заготовки – ΔV_0 ;
- условие смазки и величина трения – μ ;
- шероховатость рабочей поверхности штампа – R ;
- точность центрирования заготовки в штампе – e ;

Для определения упругой деформации прессы используется зависимость:

$$\lambda = \frac{P_d}{C}, \quad (8)$$

где $P_d = f(t, V_0, \mu, R, e \dots)$ – сила деформирования.

Анализируя формулу (8) видно, что величина упругой деформации прессы зависит от жесткости узлов прессы и от силы в конце хода деформирования, которая, в свою очередь, определяется температурой $t^0\text{C}$, объемом V_0 , условием смазки μ , точностью центрирования e заготовки и других факторов.

Основное влияние на P_d оказывают объем V_0 и температура $t^0\text{C}$ заготовки. Отклонение объема ΔV_0 заготовки обусловлено неточностью отрезки и колебаний допуска на размеры сечения проката заготовки. Для обеспечения точного объема заготовки требуется точная резка проката, для чего необходимо учитывать изменения размеров сечения проката. Более сложная задача уменьшение разброса температуры $\Delta t^0\text{C}$ заготовки, так как температура заготовки в момент штамповки зависит от многих трудноконтролируемых причин: температуры нагрева заготовки в печи; времени, затрачиваемом на перенос заготовки от печи к штампу; времени контакта заготовки со штампом. Эти факторы влияют на величину зазора между матрицами штампа, а, следовательно, и высота отштампованной поковки изменяются в пределах упругой деформации прессы.

Величина максимального отклонения δ (см. рис. 2) размера заготовки определяется отклонением размера отштампованной детали от номинальной величины, полученной при штамповке заготовки с номинальными значениями температуры $t_n^0\text{C}$ и объема $V_{он}$. Максимальное значение объема заготовки и минимальной температуры обуславливает отклонение конечной высоты отштампованной поковки от номинального значения на величину δ_1 . В случае, когда объем заготовки минимален, а значение температуры максимально, высота отштампованной детали будет меньше номинального значения на δ_2 [1]:

$$\delta_1 = \frac{P_{d1} - P_H}{C}, \quad \delta_2 = \frac{P_H - P_{d2}}{C}, \quad (9)$$

где P_H – сила в конце хода деформирования при номинальных значениях $t_n^0\text{C}$ и $V_{он}$;

P_{d1} – сила в конце хода деформирования при $t_{min}^0\text{C}$ и объема V_{01} ;

P_{d2} – сила в конце хода деформирования при $t_{max}^0\text{C}$ и объема V_{02} .

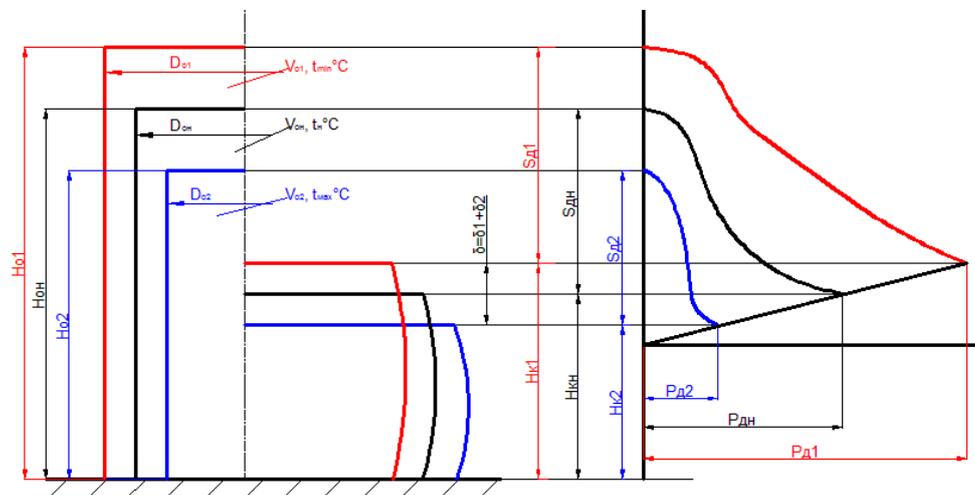


Рис. 2. Влияние параметров технологического процесса на размеры поковки по высоте

Величина максимального отклонение размера отштампованной заготовки определяем по формуле:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2. \quad (10)$$

Допустимое отклонение δ определяется величиной допуска Δ по высоте отштампованной поковки.

$$\delta = \frac{\Delta}{K_3}, \quad (11)$$

где K_3 – коэффициент запаса, необходимый для получения гарантированной точности штампуемой поковки.

В случае, если конструкция пресса имеет абсолютную жесткость $C \rightarrow \infty$, то упругая деформация всех элементов $\lambda = 0$, а высота отштампованной поковки равна h_3 (см. рис. 3, а). Данной условие соответствует крайнему нижнему положению ползуна, когда сила деформирования $P_D = 0$. В реальной ситуации при нагружении пресса технологической нагрузкой $P_D > 0$ элементы его конструкции упруго деформируются $\lambda \neq 0$. При штамповке заготовки с номинальными параметрами температуры t_H^0 С и объема заготовки V_0 высота отштампованной поковки увеличивается на величину λ_H (см. рис. 3, б):

$$\lambda_H = \lambda_{1H} + \lambda_{2H} + \lambda_{3H} + \lambda_{4H}, \quad (12)$$

где $\lambda_{1H} \dots \lambda_{4H}$ – упругие деформации ползуна, шатуна, эксцентрикового вала, станины пресса.

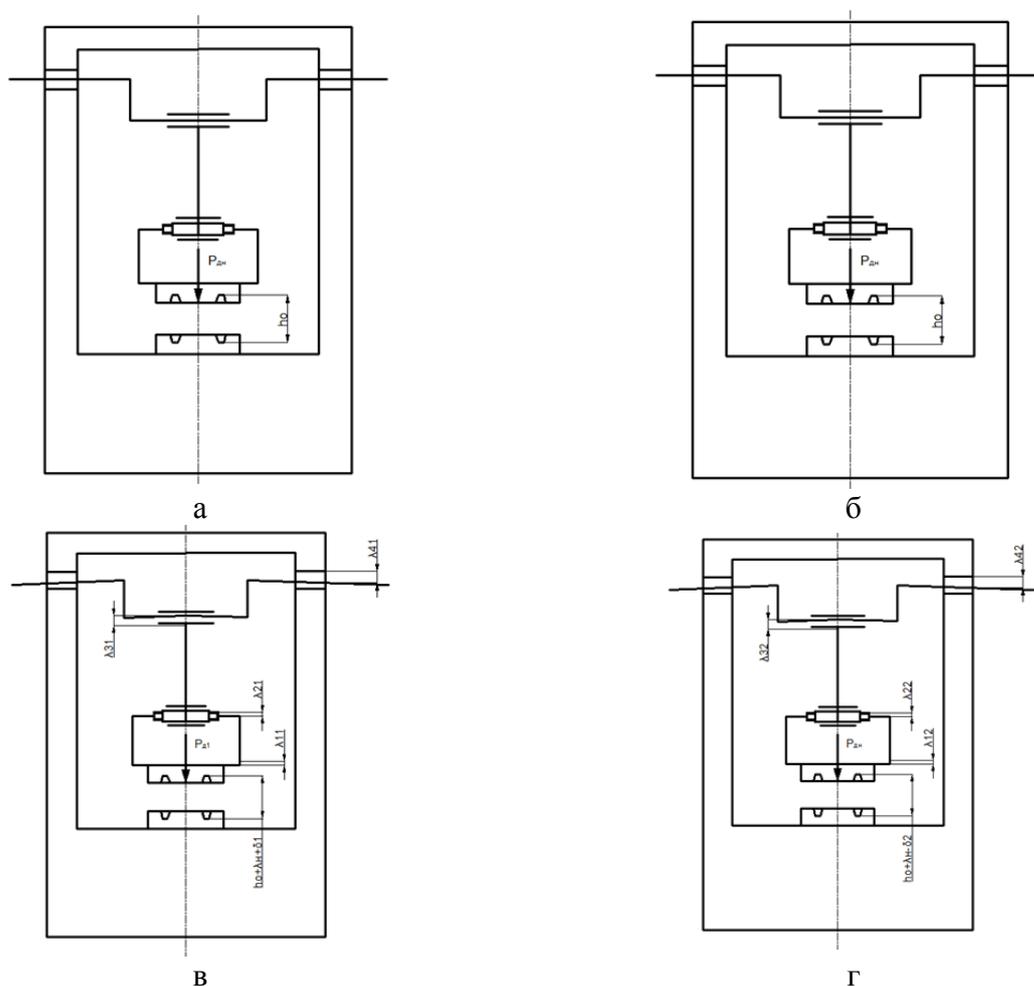


Рис. 3. Влияние жесткости пресса и силы деформирования на высоту поковки

Номинальная высота отштампованной поковки равна: $h_H = h_0 + \lambda_H$.

Если величина объем заготовки V_{O1} больше номинального, а значение температуры заготовки меньше номинальной t_{min}^0 С, то упругая деформация прессы увеличивается на δ_1 . (рис. 3, в). В случае, когда объем заготовки V_{O2} меньше номинального, а температуры заготовки t_{max}^0 С больше номинальной, то упругая деформация прессы уменьшается на δ_2 (рис. 3, г). Отсюда имеем, что изменение объема заготовки и ее температура в начале хода деформирования оказывают существенное влияние как силу деформирования в целом, так и на упругую деформацию прессы и размеры отштампованной поковки по высоте.

Из выше перечисленного следует, что размеры отштампованной поковки зависят от параметров технологического процесса и жесткости прессы. Следовательно, для увеличения точности отштампованных поволоков возможно два пути:

1. Увеличение жесткости прессы,

Исследований по влиянию жесткости прессы и геометрических размеров заготовки на точность отштампованной детали проводились в лабораторных условиях на кривошипном прессе усилием 25 кН (см. рис. 4).



Рис. 4. Экспериментальная установка

Для определения жесткости прессы использовались свинцовые заготовки цилиндрической формы диаметром 20 мм и высотой от 18 до 22 мм. В начале эксперимента зазор S_0 был выставлен на получение номинальной высоты отштампованной детали равной 10 мм, номинальная высота исходной заготовки при этом задавалась 20 мм. При проведении эксперимента измерялось усилие, необходимое для деформации заготовки и высота отштампованной детали. Влияние геометрических размеров начальной заготовки на усилие и конечную высоту отштампованной детали приведены на рис. 5, 6.

Однако этот путь отрицательно влияет на технические и экономические показатели прессы, а при создании тяжелых кривошипных прессов в виду больших габаритов и массы прессы создаются проблемы изготовления крупногабаритных деталей, сборки узлов прессы, а также транспортирования прессы заказчику.

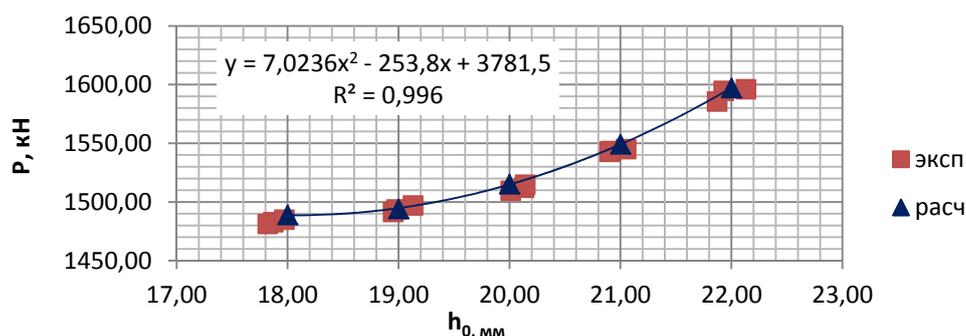


Рис. 5. Влияние геометрических размеров заготовки на усилие деформирования

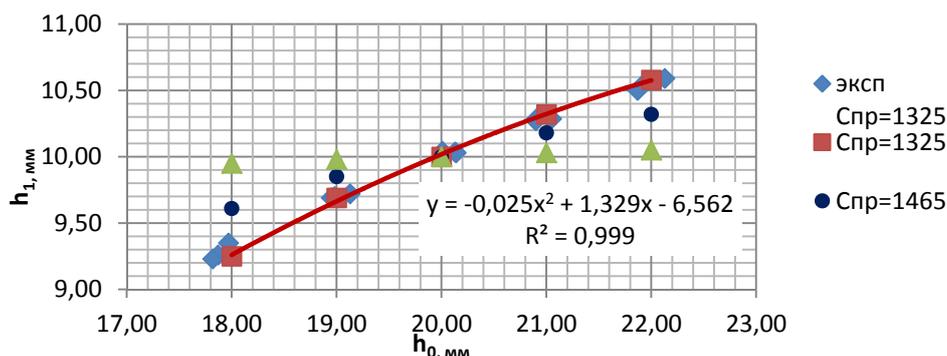


Рис. 6. Влияние геометрических размеров заготовки и жесткости пресса на точность отштампованной детали

2. Изменение технологического процесса, к примеру, применение динамического изменения закрытой высоты пресса [4, 5] в зависимости от температуры и объема заготовки.

Анализ существующих конструкций механизмов регулирования закрытой высоты кривошипных горячештамповочных прессов показал, что разработка системы адаптивного управления регулированием штамповой высоты зависит от параметров технологического процесса (температуры и объема заготовки).

С целью устранения недостатков известных систем управления предлагается ввести в конструкцию пресса механизм подрегулировки закрытой высоты пресса, обеспечивающий подрегулировку закрытой высоты в зависимости от температуры и объема заготовки. Перед штамповкой закрытая высота пресса настраивается на получение заданного номинального хода деформирования $S_{дн}$ для получения, номинального размера отштампованной по высоте поковки при штамповке из заготовки с номинальным объемом V_{0H} и температурой t_{0H} °С. При этом проводится определение $S_{ун} = \lambda_H = P_{дн}/C$. При штамповке заготовки, у которой температура меньше номинальной (t_{min} °С), а объем заготовки больше номинального (V_{01}), то ход деформирования будет меньше номинального ($S_{д1}$) из-за увеличения упругой деформации пресса λ_H на δ_1 . В случае, когда температура заготовки больше номинальной (t_{max} °С), объем заготовки меньше номинального (V_{02}), то ход деформирования будет больше номинального $S_{д2}$ из-за уменьшения упругой деформации пресса λ_H на δ_2 .

Обеспечения точности размеров отштампованной поковки независимо от температуры и объема заготовки возможно при регулировке величины закрытой высоты пресса, которая будет осуществляться перед помещением заготовки в рабочую область. Известные устройства позволяют производить замеры температуры и объема заготовки непосредственно перед штамповкой, параметры которых могут быть использованы при регулировании закрытой высоты прессы. Величины уменьшения e_1 и увеличения e_2 закрытой высоты пресса определяются:

$$e_1 = \frac{P_{д1e} - P_{дн}}{C}, \quad e_2 = \frac{P_{дн} - P_{д2e}}{C}. \quad (13)$$

Система управления кривошипным прессом с использованием динамического регулирования закрытой высоты представлена на рис. 7 Система содержит датчик 1 замера массы заготовки, датчик 2 замера температуры заготовки, поступившей из нагревательного устройства, датчик 3 замера температуры заготовки, находящийся в штампе перед штамповкой. Датчики 1, 2 и 3 соединены с входом блока 4 сравнения, к другому входу которого подаются сигналы от задающих устройств 5, 6 и 7. Задающее устройство 5 подает на блок сравнения сигнал, величина которого соответствует номинальной массе заготовки. Задающее устройство 6 подает на блок сравнения сигнал, величина которого соответствует номинальной температуре заготовки, поступившей из нагревательного устройства. Задающее устройство 7 подает на блок сравнения сигнал, величина которого соответствует номинальной температуре заготовки, находящейся в штампе перед штамповкой.

Выход блока сравнения 4 соединен через усилители 8, 9 и 10 соответственно с системой включения 11 прессы, с системой управления 12 механизма отбраковки заготовки и с системой управления 13 механизма регулирования закрытой высоты в процессе работы прессы. Посредством двигателя 14 через винтовую пару 15 проводится автономное управление закрытой высоты прессы и осуществляется её настройка с целью получения номинальной высоты поковки при номинальной температуре заготовки перед штамповкой и номинальной массой заготовки перед штамповкой. На рис. 3–4 показана заготовка 16, поступившая из нагревательного устройства, и заготовка 17, находящаяся в штампе перед штамповкой. Изменение закрытой высоты происходит с помощью клинового механизма 18.

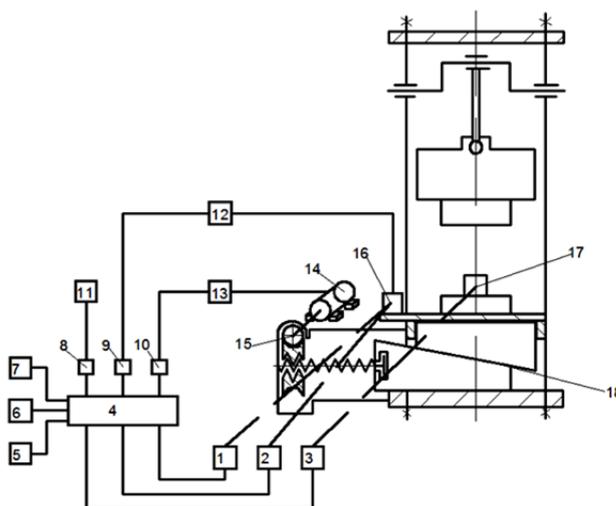


Рис. 7. Система управления кривошипным горячештамповочным прессом:

1 – датчик замера массы поступившей заготовки; 2 – датчик замера температуры поступившей заготовки; 3 – датчик замера температуры штампуемой заготовки; 4 – блок сравнения; 5, 6, 7 – задающие устройства; 8, 9, 10 – усилители; 11 – система включения; 12 – система отбраковки заготовок; 13 – система управления механизмом регулировки закрытой высоты; 14 – двигатель; 15 – винтовая пара регулировки закрытой высоты; 16 – заготовка, поступившая из нагревательного устройства; 17 – штампуемая заготовка; 18 – клиновой механизм регулировки закрытой высоты

Работа системы управления осуществляется следующим образом. В исходном положении ползун прессы находится в верхней точке, закрытая высота отрегулирована механизмом 15 регулирования закрытой высоты на величину $H_{зп}$, при которой отштампованная поковка при номинальной t_H^0 °C температуре и номинальном объеме V_{0H} будет иметь номинальную высоту $H_{кн}$. При подаче заготовки из нагревателя датчик 1 замеряет массу заготовки, а датчик 2 – температуру заготовки. Сигналы от датчиков 1 и 2 поступают в блок сравнения 4, где сравниваются с заданными от задающих устройств 5 и 6. При температуре и объеме заготовки, находящихся в пределах заданных величин, последняя подается в штамп. Выполняется штамповка заготовки в предварительных ручьях. При подаче заготовки в окончательный ручей выполняется замер температуры заготовки в этом ручье датчиком 3. Сигнал от датчика поступает в блок сравнения 4, где сравнивается с номинальным для заданного технологического процесса значением температуры. С учетом величины предварительно измеренного объема заготовки сигнал от блока сравнения через усилитель 10 поступает на систему управления 13 двигателя 14 и через винтовую пару 15 на механизм регулирования закрытой высоты прессы 18.

При работе возможны несколько вариантов сочетания значений температуры и объема заготовки перед включением прессы для совершения машинного цикла:

1. Температура и объем заготовки равны номинальным значениям. Величина $H_{зп}$ закрытой высоты прессы определяет номинальные размеры высоты поковки. Сигнал от блока

сравнения 4 через усилитель 7 подается на систему включения пресса 11. Происходит машинный цикл, во время которого осуществляется деформирование заготовки. Высота отштампованной поковки будет соответствовать номинальной.

В этом случае упругая деформация λ_H пресса равна номинальной:

$$\lambda_H = \frac{P_H}{C}, \quad (14)$$

где P_H – сила в конце хода деформирования при номинальных значениях объема заготовки и её температуры;

C – жесткость пресса.

2. Температура заготовки выше номинальной и её объем больше номинальной. С увеличением температуры заготовки сила деформирования уменьшается. С увеличением объема заготовки сила деформирования увеличивается. Вероятно, существует такое соотношение между увеличением температуры и объема заготовки, при котором сила деформирования остается равной силе при номинальном режиме. Упругая деформация пресса также будет равна λ_H , что соответствует номинальным параметрам заготовки. В этом случае величина закрытой высоты пресса соответствует параметрам заготовки и перед штамповкой не регулируется. Сигнал от блока сравнения 4 через усилитель 8 подается на систему 11 включения пресса. Происходит машинный цикл, во время которого осуществляется деформирование заготовки. Высота отштампованной поковки будет соответствовать номинальной.

3. Температура и объем заготовки ниже номинальных. С уменьшением температуры заготовки сила деформирования увеличивается. С уменьшением объема заготовки сила деформации также уменьшается. И в этом случае также вероятно такое соотношение между уменьшением температуры и объема заготовки, при котором сила деформирования сохраняется равной силе при номинальном режиме, упругая деформация пресса равна λ_H , что соответствует номинальным параметрам заготовки. Закрытая высота пресса не регулируется. Сигнал от блока сравнения 4 через усилитель 8 подается на систему включения пресса 11. Происходит машинный цикл, во время которого осуществляется деформирование заготовки. Высота отштампованной поковки также будет соответствовать номинальной.

Максимальное отклонение δ размеров отштампованных поковок составит величину (10), которая не должна превышать величину допуска Δ на высоту поковки.

Величина возможного максимального отклонения δ определяется величиной допуска Δ по высоте отштампованной поковки (11).

Для обеспечения номинальных размеров отштампованной поковки, независимо от температуры и объема заготовки осуществляется следующим образом. При поступлении заготовки при температуре t_H^0 С меньше оптимальной и объеме V_{max} заготовки больше номинальной от датчиков 1 и 2 поступает сигнал в блок сравнения 4, из которого через усилитель 9 подается сигнал в систему управления 11 механизмами 14 и 15 регулирования закрытой высоты пресса. Проворачивается винтовая пара 15 и закрытая высота пресса уменьшается на величину $e_1 = \delta_1$.

При поступлении заготовки при температуре t_{max}^0 С больше номинальной и объема V_{min} заготовки меньше номинальной от датчиков 1 и 2 поступает сигнал в блок 4, из которого через усилитель 9 подается сигнал в систему 11 управления механизма регулировки закрытой высоты пресса. Проворачивается винтовая пара 15 и закрытая высота пресса увеличивается на величину $e_2 = \delta_2$.

Значения уменьшения e_1 и увеличения e_2 закрытой высоты пресса определяются по (13):

$$e_1 = \frac{P_{max} - P_{дн}}{C}, \quad e_2 = \frac{P_{дн} - P_{min}}{C},$$

где $P_{дн}$ – номинальная сила в конце хода деформирования при номинальных значениях температуры и объема;

P_{max} – сила в конце хода деформирования при температуре заготовки t_{min}^0 С меньше номинальной и объема V_{max} заготовки больше номинального;

P_{min} – сила в конце хода деформирования при температуре заготовки $t_{max}^{\circ}\text{C}$ больше номинальной и объема V_{min} заготовки меньше номинального.

Из этого следует, что размеры отштампованных поковок по высоте определяются не жесткостью пресса, температурой и объемом заготовки, а точностью, с которой работает система управления закрытой высоты пресса.

4. Температура и масса заготовки не соответствуют номинальным значениям. Соотношение между температурой и массой заготовки могут быть такими, при которых сила деформирования заготовки будет больше или меньше номинальной силы.

В процессе расчета кривошипного пресса основным параметром принимают деформирующую силу P_D , прикладываемую к заготовке в процессе ее обработки. Величину деформирующей силы определяют на основе теоретического анализа пластического деформирования заготовки в процессе технологической операции. Значение P_D зависит от размеров заготовки, схемы деформирования, механических характеристик обрабатываемого материала, однако оно не должно превышать установленного в ГОСТе номинального усилия кривошипного пресса $P_{ном}$, т. е. $P_D < P_{ном}$. Поэтому при расчете деформирующую силу считают сосредоточенной, равной номинальному усилию пресса, приложенному со стороны рабочего инструмента по оси пресса. При этом должно выполняться условие $P_{ном} < [P_B]$ и $P_{ном} < [P_{п}]$, где $[P_B]$ и $[P_{п}]$ допустимые усилия на валу и ползуне соответственно (см. рис. 8).

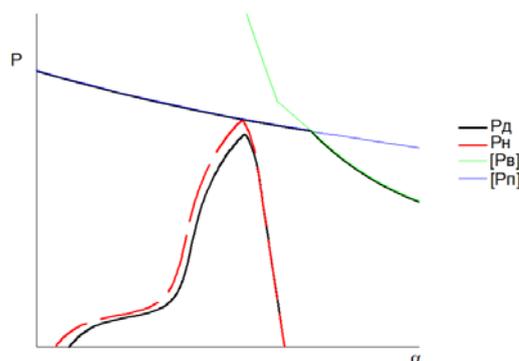


Рис. 8. График допустимых усилий узлов кривошипного пресса:

P_D – усилие деформирования; P_n – номинальное усилие пресса; $[P_B]$ – допустимое усилие на валу; $[P_{п}]$ – допустимое усилие на ползуне

Несоблюдение этих условий приводит к заклиниванию пресса, причиной заклинивания является нехватка кинетической энергии маховика, необходимой для выполнения работы деформирования, так называемой эффективной энергии пресса (15) [5]:

$$T = J \cdot \frac{(\omega_0^2 - \omega_1^2)}{2}, \quad (15)$$

где J – момент инерции на маховике;

ω_0 и ω_1 – угловая скорость начальная и конечная соответственно;

A_d – работа деформирования;

η_d – КПД рабочего хода деформирования [5].

Работу деформирования можно определить из формулы (3)

$$A_d = \frac{1}{1+a} \cdot T - \frac{P_d^2}{2 \cdot C},$$

где C – жесткость пресса;

a – коэффициент, определяющий потери энергии на трение (2);

T – эффективная энергия пресса (15);

P_d – работа деформирования:

$$P_d = F \cdot \sigma \cdot \left(1 + \mu/3 \cdot d/h\right), \quad (16)$$

где F – поперечное сечение заготовки;
 σ – предел текучести материала;
 μ – коэффициент трения;
 d/h – отношение конечного диаметра поковки к её высоте.

Из вышеизложенного следует, что работа деформирования тем меньше, чем меньше разница между начальными и конечными геометрическими размерами заготовки. Поэтому, если деформировать заготовку на заданную высоту за несколько ходов, т. е. $\Delta h = h_1 + h_2 + \dots + h_n$ (рис. 9), мы можем уменьшить усилие, затрачиваемое на деформацию заготовки в целом. При этом общее усилие деформирования заготовки будет равно сумме усилий, затрачиваемых на деформацию заготовки на каждом шаге:

$$P_{\text{Дк}} = \sum_1^n P_{\text{Ди}}, \quad (17)$$

где $P_{\text{Дк}}$ – общее усилие;
 $P_{\text{Ди}}$ – усилие деформирования $P_{\text{Дк}} \ll P_{\text{Ди}}$.

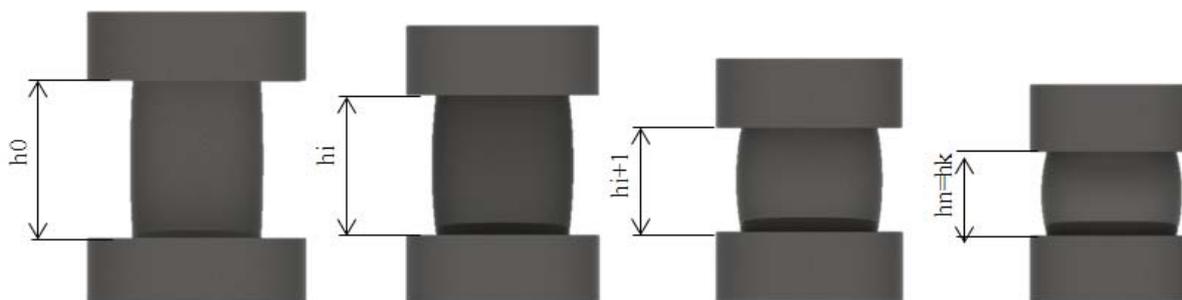


Рис. 9. Дробная деформация заготовки

При реализации данной схемы деформации получаем:

- уменьшение усилий деформации заготовки и работы деформирования;
- уменьшение раскрытия станины прессы;
- увеличение точности получаемой заготовки с её размерами на чертеже (за счет того, что на последнем этапе деформации можно учесть недоштамповку заготовки на каждом из этапов, связанную с «раскрытием» станины);
- уменьшение эксцентричных нагрузок на детали прессы в горизонтальном направлении, которые имеют место при стандартной штамповке в пресс-форме при последующей деформации заготовки в новом ручье штампа;
- возможность автоматизировать процесс штамповки.

Принимая во внимание, что для обеспечения возможности автоматизировать процесс необходимо, чтобы время, необходимое для доразгона маховика было равно времени возвратного хода (рис. 10), следовательно:

$$t_{\text{др}} = t_{\text{вх}}, \quad (18)$$

где $t_{\text{вх}}$ – время возвратного хода ползуна, $t_{\text{вх}} = \frac{30}{n_n}$;

n_n – количество ходов ползуна за минуту.

$t_{\text{др}}$ – время, необходимое для восстановления кинетической энергии маховика:

$$t_{\text{др}} = t_{\text{вх}} = \frac{J_M \cdot (\omega_M^2 - \omega_M^2 - \frac{2 \cdot A_D}{J_0})}{2000 \cdot N_{\text{дв}}}. \quad (19)$$

Для определения максимальной работы деформирования, которую необходимо затрачивать для автоматизации процесса штамповки, усилие деформирования на каждом шаге и конечную высоту заготовки, которую можно получить за один шаг, необходимые для автоматизации процесса штамповки, преобразуем формулы 19, 3 и 16, получим:

$$A_d = \frac{1000 \cdot N_{дв} \cdot t_{вх} \cdot J_0}{J_M}, \tag{20}$$

$$P_d = \sqrt{\left(\frac{1}{1+a} \cdot T - A_d\right) \cdot 2 \cdot C}; \tag{21}$$

$$h_i = \frac{F \cdot \sigma \cdot \mu \cdot d}{3 \cdot (P - F \cdot \sigma)}. \tag{22}$$

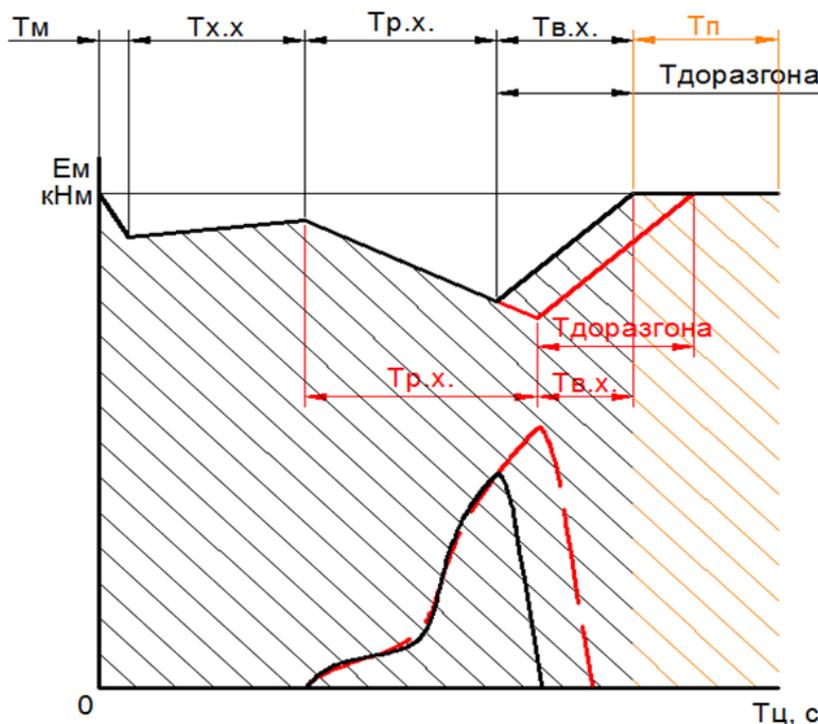


Рис. 10. Диаграмма затрат энергии на рабочем цикле [6]

При применении дробления общей деформации заготовки по высоте последний этап позволяет учесть общую недоштамповку, обусловленную раскрытием станины. При этом общая погрешность штамповки будет равна:

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_i, \tag{23}$$

где $\Delta l_1 = \frac{P_{д1}}{C}; \Delta l_2 = \frac{P_{д2}}{C}; \Delta l_i = \frac{P_{дi}}{C}. \tag{24}$

Для поведения экспериментальных исследований была спроектирована установка механизма регулировки закрытой высоты (рис. 11).

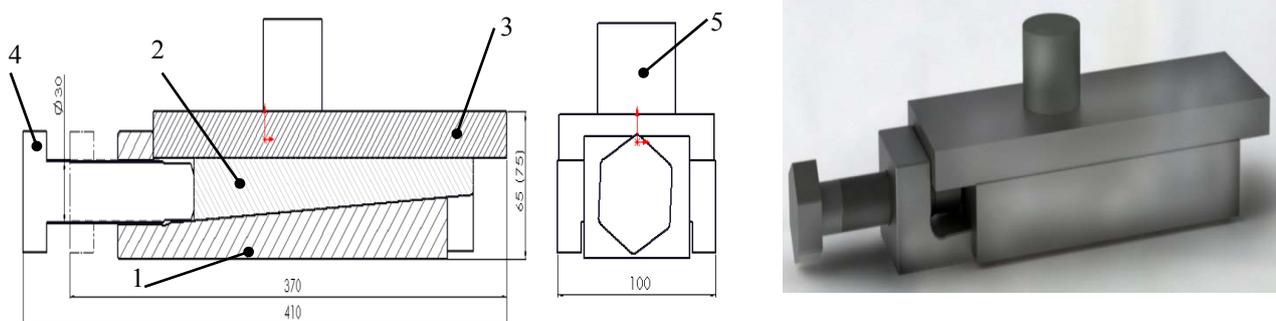


Рис. 11. Экспериментальная установка для динамической регулировки закрытой высоты: 1 – корпус; 2 – верхний клин; 3 – стол; 4 – регулировочный болт; 5 – заготовка

При проведении эксперимента была поставлена задача определение усилий, требуемых при осадке одинаковых заготовок, и точности высоты заготовки. Эксперимент проводился на двух одинаковых свинцовых заготовках цилиндрической формы размером 22×20 мм, которые осаживали на 50 % по высоте. Первую заготовку осаживали за один шаг, конечная высота составила 10,57 мм. Осадку второй заготовки проводили в 6 этапов, после каждого из которых стол поднимали с помощью механизма регулировки закрытой высоты на 2 мм. Окончательная высота осаживаемой заготовки составила 10,02 мм.

Диаграмма усилий представлена на рис. 12.

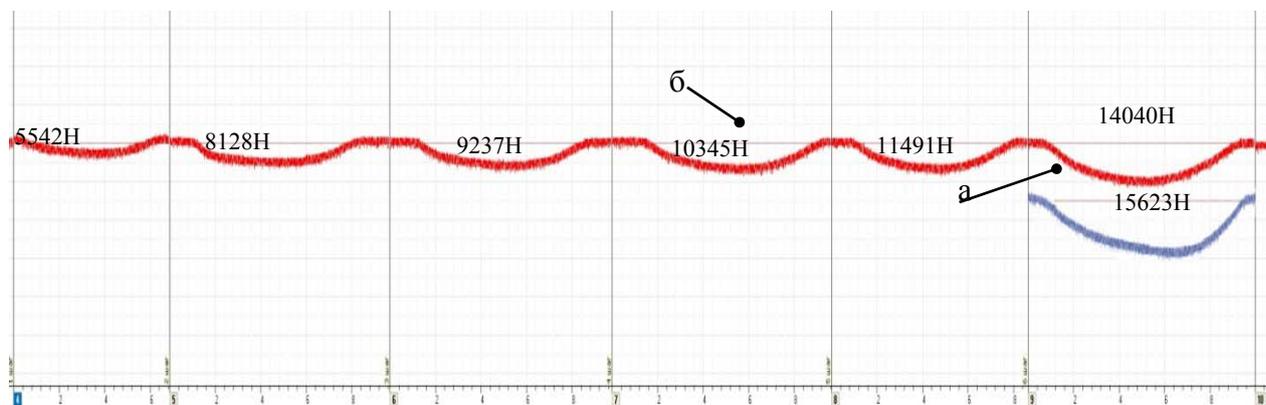


Рис. 12. Диаграмма усилий при осадке за один шаг (а) и при дробной деформации (б)

ВЫВОДЫ

В работе исследованы факторы, влияющие на точность деталей, отштампованных на кривошипных прессах. Определено влияние жесткости пресса на точность отштампованных деталей. Экспериментально обоснована возможность использования динамического регулирования закрытой высоты для обеспечения точности отштампованной детали. Показана целесообразность применения дробной деформации хода деформирования заготовки с целью повышения точности детали и возможности использования менее мощных прессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов А. В. *Определение необходимого запаса энергии пресса на основе графика технологических нагрузок по ходу ползуна* / А. В. Сафронов // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1997. – № 10. – С. 32–34.
2. Сафронов А. В. *К вопросу определения жесткости кривошипных горячештамповочных прессов* / А. В. Сафронов, А. Т. Крук // *Вестник МГТУ*. – 1998. – № 2. – С. 78–83. – (Серия «Машиностроение»).
3. Сафронов А. В. *К вопросу определения жесткости кривошипных горячештамповочных прессов* / А. В. Сафронов, А. Т. Крук // *Вестник МГТУ*. – 1998. – № 2. – С. 78–83. – (Серия «Машиностроение»).
4. Роганов М. Л. *Кривошипные прессы с переменной в процессе деформации закрытой высотой пресса* / М. Л. Роганов // *Обработка материалов давлением : сб. научн. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 1(20). – С. 291–294.
5. Роганов М. Л. *Совершенствование конструкций кривошипных прессов* / М. Л. Роганов // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні : темат. зб. наук. пр.* – Краматорськ : ДДМА, 2004. – С. 291–294.
6. Бачаров А. Ю. *Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для студентов высших учебных заведений* / Ю. А. Бочаров. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.
7. *Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Кузнечно-прессовое оборудование». Кривошипные машины* / сост. : О. М. Шинкаренко, Л. В. Попивненко. – Краматорск : ДГМА, 1996. – 56 с.

Пыц В. Я. – аспирант ДГМА;

Клименко Г. П. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. АПП ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: vlad1m1rpyts@gmail.com

Статья поступила в редакцию 04.12.2013 г.