

УДК 621.777.24

Ф. И. Антонюк, А. Г. Вяткин

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ КРИВОШИПНЫЙ ПРЕСС–ШТАМП НА СТАЦИОНАРНОСТЬ СИЛЫ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Показано, что увеличение жесткости системы кривошипный пресс–штамп путем выбора прессы большей жесткости сопровождается увеличением влияния погрешности наладки закрытой высоты прессы на погрешность высотных размеров поковок. В результате возрастает диапазон колебания силы сопротивления поковки деформированию, что снижает загрузку прессы по величине его номинальной силы.

Кривошипный пресс для операций холодной объемной штамповки по критерию точности высотных размеров поковок выбирают, исходя из того, что увеличение жесткости системы пресс–штамп в большинстве случаев способствует повышению указанной точности. Вместе с тем, известно, что степень влияния жесткости системы пресс–штамп зависит от жесткости штампуемых поковок [1]. Так например, при штамповке в закрытых штампах, когда жесткость поковок значительно превышает жесткость системы пресс–штамп, ее увеличение мало сказывается на точности поковок. И напротив, если жесткость поковок низкая, как это имеет место при обратном выдавливании стаканов с относительно толстым дном, аналогичное повышение жесткости системы пресс–штамп способствует повышению точности высотных размеров поковок.

Известно, что повышение жесткости системы пресс–штамп путем выбора прессы большей жесткости приводит к уменьшению влияния на точность высотных размеров поковок лишь случайных погрешностей, вызванных колебаниями механических свойств материала исходных заготовок, их объема, изменением условий контактного трения и ряда других факторов. С другой стороны, повышение жесткости системы пресс–штамп сопровождается возрастающим влиянием систематической постоянной погрешности — погрешности наладки, возникающей в процессе регулирования закрытой высоты прессы. И в этом случае влияние погрешности наладки на погрешность высоты поковок

также зависит от их жесткости. С уменьшением жесткости поковок, влияние систематической постоянной погрешности наладки возрастает [2].

Приведенные характеристики системы пресс–штамп и штампуемой поковки, а также величина и характер погрешностей исходных заготовок и технологического процесса играют важную роль не только в процессе формирования погрешностей высотных размеров поковок, но и неразрывно связаны с условиями и эффективностью эксплуатации кривошипных прессов, что необходимо учитывать при их выборе по величине номинальной силы.

Известно, что эти кузнечно-прессовые машины наиболее чувствительны к перегрузкам (превышению номинальной силы), и в то же время неполное использование их силовых возможностей ведет к значительным непроизводительным затратам [3]. Практика показывает, что достаточно незначительной ошибки в расчете величины силы деформирования поковки или ее отклонения от расчетного значения, чтобы пресс подвергся перегрузке или заклиниванию. Вместе с тем, даже при отсутствии перегрузки пресса, при значительном возрастании деформирующей силы, может возникнуть перегрузка рабочих деталей штампа по величине удельных сил, допускаемых либо прочностью их материала, либо экономически целесообразной стойкостью штампа.

Таким образом, многокритериальный подход к выбору кривошипного пресса как по уровню его жесткости, так и по величине номинальной силы является наиболее правильным [3].

Перегрузки выбираемого кривошипного пресса для холодной объемной штамповки (ХОШ) можно избежать, если расчетное значение силы сопротивления поковки на определенную величину ее приращення ΔP будет меньше номинальной силы пресса:

$$P \leq P_H - \Delta P = P_H - \Delta h C, \quad (1)$$

где P_H — номинальная сила пресса; Δh — абсолютная суммарная погрешность высоты поковки, вызванная действием случайных погрешностей и систематической погрешности наладки; C — жесткость системы пресс–штамп.

В общем случае для операций ХОШ суммарная погрешность высотного размера определяется по формуле

$$\Delta h = h (K_V \delta V + K_\sigma \delta \sigma_S + K_\mu \delta \mu) + K_H \Delta H,$$

где h — высота поковки; K_V , K_σ , K_μ — коэффициенты преобразования случайных погрешностей объема заготовок, их механических свойств и

погрешности, вызванной изменением коэффициента контактного трения в погрешность высоты поковок; K_H — коэффициент преобразования погрешности регулирования закрытой высоты пресса; δV , $\delta \sigma_S$, $\delta \mu$ — относительные погрешности, выраженные в долях единицы; ΔH — абсолютная погрешность регулирования закрытой высоты пресса (погрешность наладки).

Очевидно, что высокая точность штампуемых поковок предполагает, что процесс штамповки осуществляется при постоянной величине жесткости системы пресс–штамп. Отсюда вытекает требование, чтобы работа кривошипного пресса выполнялась на линейном участке характеристики его жесткости при силе сопротивления поковки не менее 25...30 % номинальной силы пресса [4].

Тогда, наряду с уравнением (1), должно также выполняться условие

$$(0,25 \dots 0,3)P_H \leq P - \Delta h C.$$

Обычно при расчетах точности суммарную погрешность определяют тремя методами: методом максимума-минимума, методом квадратичного суммирования дисперсий случайных элементарных погрешностей и так называемым смешанным методом [5].

В последнем случае принимают, что некоторые погрешности изменяются детерминировано, поэтому их суммируют по методу максимума–минимума; для других учитываемых погрешностей применяют вероятностное суммирование. Как показывает практика, метод квадратичного суммирования дает заниженное (до 6 раз) значение суммарной погрешности выходного параметра. При расчете наихудшего случая, когда элементарные погрешности суммируют по методу максимума-минимума, значение погрешности выходного параметра может быть завышено до 1,5 раз [5].

Риск перегрузки кривошипного пресса по величине его номинальной силы должен быть исключен, поэтому оправдано применение метода наихудшего случая. Учет нестационарного характера силы сопротивления поковки, определяемого величиной ее приращения ΔP под влиянием систематической и случайных погрешностей, позволяет не только исключить возможную перегрузку кривошипного пресса, но и на основании условия (1) оценить эффективность его загрузки по величине номинальной силы.

Для этого рассмотрим предельный случай, исключающий перегрузку:

$$P = P_H - \Delta P = P_H - \Delta h C.$$

При таком условии численной оценкой эффективности загрузки кривошипного пресса может служить величина коэффициента исполь-

зования номинальной силы пресса [3]

$$K = \frac{P}{P_H} = \frac{P_H - \Delta h C}{P_H} = 1 - \frac{\Delta h C}{P_H}. \quad (2)$$

Коэффициент использования номинальной силы пресса, как следует из уравнения (2), зависит от его жесткости со штампом, величины случайных и систематических погрешностей, а также от жесткости штампуемых поковок. Поскольку существует связь коэффициента использования номинальной силы пресса с параметрами технологического процесса, то не следует ориентироваться на некоторые постоянные значения этого коэффициента, приводимые в различных источниках [6].

Анализируя литературные источники, выявили, что очень часто при выборе кривошипного пресса по величине его номинальной силы и при определении коэффициента K учитывают лишь случайные погрешности, игнорируя погрешности наладки [6]. Специфика той или иной технологической операции ХОШ в некоторых случаях может привести к существенным ошибкам.

Рассмотрим методику оценки эффективности использования номинальной силы кривошипного пресса на примере технологии обратного выдавливания стаканов из алюминиевого сплава.

При обратном выдавливании таких поковок случайными погрешностями являются погрешности механических свойств материала заготовок и погрешности, связанные с возможным изменением условий контактного трения, а систематической постоянной — погрешность регулирования закрытой высоты пресса.

Известно, что выдавливание стаканов из алюминиевых сплавов осуществляют как с применением смазочных материалов, так и без них. Кроме того, известно, что погрешность толщины дна стаканов зависит в основном от колебаний механических свойств исходных заготовок [6]. Исходя из этого, при анализе точности обратного выдавливания можно ограничиться лишь учетом случайной погрешности $\delta\sigma_s$ и погрешности наладки ΔH .

В этом случае суммарная погрешность толщины дна стакана определится по формуле

$$\Delta t = K_\sigma t \delta\sigma_s + K_H \Delta H. \quad (3)$$

В работе [2] на основе математического моделирования деформирования технологической системы кривошипный пресс–штамп–поковка с использованием теории параметрической чувствительности были получены следующие выражения для коэффициентов преобразования (функций чувствительности):

$$K_{\sigma} = \frac{\delta t}{\delta \sigma_s} = \frac{\partial P / \partial \sigma}{C - \partial P / \partial t} \frac{\sigma_s}{t}; \quad (4)$$

$$K_H = \frac{\Delta t}{\Delta H} = \frac{C}{C - \partial P / \partial t}, \quad (5)$$

где P — функция силы обратного выдавливания, t — толщина дна стакана.

Силу, необходимую для обратного выдавливания, можно определить по формуле, предложенной Е.А. Поповым [7]:

$$P = \sigma_s \cdot \frac{\pi d^2}{4} \left(2 + \mu \frac{d}{3t} + \mu \frac{t}{2s} + \frac{t}{4s} \right), \quad (6)$$

где σ_s — напряжение текучести упрочняемого материала с учетом интенсивности деформации, d — диаметр полости стакана (пуансона), s — толщина стенки стакана.

Используя формулу Е.А. Попова (6), на основании уравнений (4) и (5) получим выражения для соответствующих коэффициентов преобразования $\delta \sigma_s$ и ΔH в погрешность толщины дна стаканов:

$$K_{\sigma} = \frac{\delta t}{\delta \sigma_s} = \frac{\sigma_s \frac{\pi d^2}{4t} \left(2 + \mu \frac{d}{3t} + \mu \frac{t}{2s} + \frac{t}{4s} \right)}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4} \left(\mu \frac{d}{3t^2} - \mu \frac{1}{2s} - \frac{1}{4s} \right)}; \quad (7)$$

$$K_H = \frac{\Delta t}{\Delta H} = \frac{C}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4} \left(\mu \frac{d}{3t^2} - \frac{\mu}{2s} - \frac{1}{4s} \right)}. \quad (8)$$

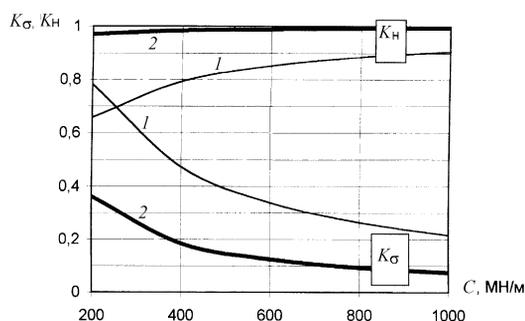


Рис. 1. Зависимость коэффициентов K_{σ} и K_H от жесткости системы пресс-штамп и жесткости поковки и толщины дна стакана t :

$D/d = 1, 15$; $\mu = 0, 3$; 1, 2 — $t = 1, 0; 2, 5$ мм

На рис. 1 в виде графиков показаны зависимости коэффициентов K_{σ} и K_H от жесткости системы пресс-штамп и жесткости поковки ($\partial P / \partial t$), зависящей, как следует из уравнений (7) и (8), от толщины дна стакана на заключительной нестационарной стадии обратного выдавливания. Расчет величины коэффициентов K_{σ} и K_H выполнен для стаканов из алюминиевого сплава АД1

($\sigma_s = 150$ МПа) с размерами: $D = 25$ мм, $d = 21,5$ мм ($D/d = 1,15$), с толщиной стенки $s = 1,75$ мм и различной толщиной дна ($t = 1,0$ и $2,5$ мм). Коэффициент контактного трения μ в расчетах при отсутствии смазывания принят равным $0,3$ [6].

Из графиков на рис. 1 видно, что увеличение жесткости системы пресс-штамп способствует уменьшению коэффициента K_σ . Причем, с уменьшением жесткости поковки (увеличением толщины дна) это влияние возрастает. Вместе с тем, увеличение жесткости системы пресс-штамп приводит к увеличению коэффициента преобразования погрешности наладки в погрешность толщины дна (K_H). Увеличению коэффициента K_H также способствует уменьшение жесткости поковки вследствие увеличения толщины дна стакана. Из рис. 1 видно, что для менее жестких поволоков из сплава АД1 с относительно большой толщиной дна (больше глубины очага пластической деформации) величина коэффициента K_H близка к единице, и в этом случае погрешность наладки может доминировать над случайной составляющей суммарной погрешности толщины дна.

Основываясь на значениях коэффициентов K_σ и K_H для приведенных параметров алюминиевых стаканов, рассчитывают абсолютную суммарную погрешность толщины их дна, используя зависимости (3). В соответствии с действующими стандартами на прессованные прутки из алюминиевых сплавов, относительная погрешность $\delta\sigma_s$ принята равной 10% , а погрешность регулирования закрытой высоты — $0,1$ мм (специальные прессы для холодного выдавливания) и $0,5$ мм (универсальные прессы).

На рис. 2, а, б в виде графиков приведены зависимости суммарной погрешности толщины дна стаканов от жесткости системы пресс-штамп, жесткости поковки ($t = 1,0$ и $2,5$ мм), погрешности наладки

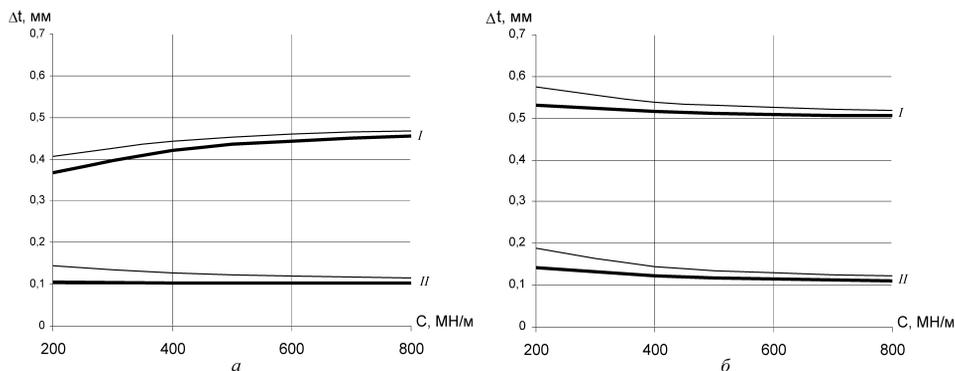


Рис. 2. Зависимость суммарной погрешности толщины дна стакана Δt от жесткости системы пресс-штамп и погрешности наладки ΔH :
 а, б — $t = 1,0; 2,5$ мм; I, II — $\Delta H = 0,5; 0,1$ мм; — — — — $\delta\sigma_s = 10\%$;
 - - - - - $\delta\sigma_s = 5\%$

ΔH и относительной погрешности напряжения текучести материала поковки $\delta\sigma_s$. Сравнивая графики на рис. 2, а, б легко заметить, что как для менее жесткой поковки ($t = 2,5$ мм), так и для более жесткой ($t = 1,0$ мм) характерен большой вклад погрешности наладки в суммарную погрешность толщины дна. В частности, на прессах с высокой жесткостью ($C = 600 \dots 800$ МН/м — специальные прессы для холодного выдавливания [3]) коэффициент преобразования K_H близок к единице, а величина коэффициента K_σ — к 0,1. Следовательно, суммарную погрешность толщины дна стаканов из сплава АД1 при штамповке на таких прессах можно представить как $\Delta t \approx K_H \Delta H$.

Из графиков на рис. 2, б видно, что для стакана с относительно тонким дном увеличение погрешности наладки до 0,5 мм может привести к тому, что повышение жесткости системы пресс–штамп не уменьшит суммарную погрешность толщины дна, а вопреки ожиданиям — увеличит.

Отсутствие перегрузки кривошипного пресса при обратном выдавливании стаканов при наличии систематической погрешности наладки (ΔH) и случайной погрешности ($\delta\sigma_s$) может быть обеспечено выполнением условия:

$$P = P_H - C(K_\sigma t \delta\sigma_s + K_H \Delta H).$$

Тогда, с учетом уравнений (2) и (3), предельно допустимую по условию отсутствия перегрузки величину коэффициента использования номинальной силы кривошипного пресса можно определить как

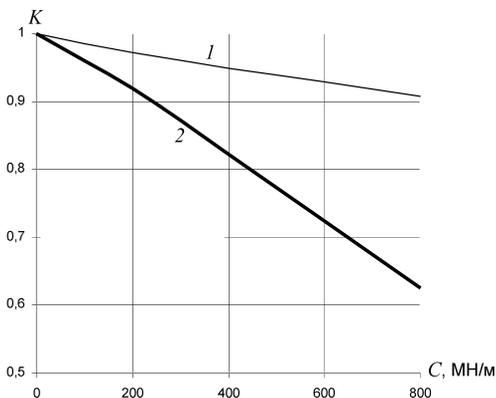


Рис. 3. Зависимость коэффициента K от жесткости системы пресс–штамп и погрешности наладки ΔH :

$t = 1,0$ мм; $D/d = 1,15$; $\delta\sigma_s = 10\%$; 1, 2 — $\Delta H = 0,1; 0,5$ мм

$$K = 1 - \frac{C(K_\sigma t \delta\sigma_s + K_H \Delta H)}{P_H}. \quad (9)$$

На рис. 3 приведены графики зависимости предельно допустимой величины коэффициента использования номинальной силы кривошипного пресса ($P_H = 1000$ кН), на котором осуществляется выдавливание стаканов из сплава АД1. Расчет выполнен в соответствии с формулой (9). Анализируя графики на рис. 3 можно сделать вывод, что при выдавливании стаканов из

сплава АД1 на прессах с большой жесткостью (например, специальных для холодного выдавливания) точность толщины дна стаканов, как и рациональное использование номинальной силы пресса, существенно зависит от погрешности наладки. Увеличение жесткости системы кривошипный пресс–штамп за счет выбора пресса с большей жесткостью требует повышения точности регулирования закрытой высоты пресса.

Вывод. При выборе кривошипного пресса по критерию точности высотных размеров штампуемых поковок необходимо учитывать неоднозначный характер влияния жесткости системы пресс–штамп на величину случайных погрешностей и погрешность наладки. Повышение жесткости системы пресс–штамп приводит к увеличению погрешности наладки, что может быть причиной не только увеличения погрешности высотных размеров поковок, но также и увеличения диапазона колебания силы полезного сопротивления. Это обстоятельство влияет на эффективность загрузки кривошипного пресса по величине его номинальной силы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланской Е. Н. Влияние жесткости процесса штамповки на точность // Повышение точности и автоматизацияковки и штамповки. – М.: Машиностроение, 1967. – 576 с.
2. Антонюк Ф. И., Вяткин А. Г. Влияние погрешности наладки кривошипных и гидравлических прессов на точность поковок, получаемых холодной объемной штамповкой // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия “Машиностроение”. – 2002. – № 2. – С. 115–126.
3. Аksenov Л. Б. Системное проектирование процессов штамповки. – Л.: Машиностроение, 1990. – 239 с.
4. Кузнечно-штамповочное оборудование / Под ред. А.Н. Банкетова, Е.Н. Ланского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.1. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
6. Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. Т.3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
7. Попов Е. А. Некоторые варианты приближенного анализа операций обработки давлением // Машины и технология обработки давлением: Сб. науч. трудов МВТУ. – № 163. – М.: Машиностроение, 1973. – С. 168–177.

Статья поступила в редакцию 12.02.2003