

УДК 621.735.32

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОКОВОК ПРИ ХОЛОДНОЙ ОСАДКЕ

Антонюк Ф.И., Зенкина И.А., Кузнецов И.В.

*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга,
e-mail: antonyuk.f.i.@yandex.ru*

Выполнен анализ точности размеров цилиндрических поковок при их изготовлении холодной осадкой на плоских плитах для применения в качестве штучных заготовок формоизменяющих операций холодной объемной штамповки. Для оценки точности использовали коэффициенты преобразования исходных случайных погрешностей в погрешность высотных размеров поковок при их осадке на гидравлическом и универсальном кривошипном прессе. В результате сравнительного анализа определено, что при осадке на гидравлическом прессе поковок с отношением d/h от 1 до 3 более 80% величины исходных случайных погрешностей объема и механических свойств материала заготовок преобразуется в погрешность высоты поковок, а при осадке на кривошипном – лишь менее 20%. Остальная часть исходных погрешностей преобразуется в погрешность диаметра поковок. Поэтому при осадке на гидравлическом прессе диаметральный размер поковок обеспечивается более высокая точность, что отвечает основному требованию, предъявляемому к штучным заготовкам. Предложены зависимости, позволяющие определить величину коэффициентов преобразования исходных относительных случайных погрешностей в относительную погрешность диаметра осаживаемых на прессах различного типа цилиндрических заготовок.

Ключевые слова: точность осадки, жесткость пресса, коэффициент преобразования погрешностей

IMPROVING THE ACCURACY OF DIAMETRICAL SIZES OF CYLINDRICAL FORGINGS DURING COLD UPSETTING

Antonyuk F.I., Zenkina I.A., Kuznetsov I.V.

*Moscow State Technical University n.a. Bauman (National Research University), Kaluga Branch,
Kaluga, e-mail: antonyuk.f.i.@yandex.ru*

This article is devoted to the analyzes of the dimensional accuracy of cylindrical forgings in their manufacture with cold upset on the flat plates for their use as single-piece workpieces in shaping operations of cold forging. To evaluate the accuracy of conversion factors coefficient of random error in the accuracy of tall size forgings in their upsetting in a hydraulic press and universal crank press was used. A comparative analysis determined that upset in the hydraulic press with the ratio d/h of from 1 to 3 over 80% of the initial value of the random errors of volume and mechanical properties of raw material workpieces is converted into a height error of forgings, and only less than 20% with the cold upsetting on the crank press. The rest of the initial is converted into forgings diameter error. Therefore, with the upsetting on a hydraulic press higher accuracy of diametrical size forgings is ensured that meets the basic requirements for single-piece workpieces. Depends, allowing to determine the value of the transformation coefficients of random errors in the relative errors of the diameter of various types of cylindrical workpieces are proposed.

Keywords: the accuracy of upsetting, the rigidity of the press, the conversion factor errors

При выполнении различных операций холодной объемной штамповки (ХОШ) диаметральный размер поковок, оформляемым одной рабочей деталью штампа, обеспечивается точность, соответствующая точности сопрягаемых размеров (8...9 качества). Она зависит от характеристик материала деформируемой поковки, рабочей детали штампа, а также условий контактного трения в штампе.

Точность высотных размеров, оформляемых взаимным расположением подвижной и неподвижной рабочих деталей штампа, на 3...5 качества грубее и определяется влиянием большого количества факторов: типом применяемого пресса, особенностями технологической операции, а также характером и величиной исходных погрешностей.

Однако наиболее важным фактором, определяющим ту или иную степень влияния всех остальных, является жесткость штампуемых поковок, оцениваемая скоростью роста их сопротивления деформированию в конечный момент процесса штамповки. Величина этого показателя силового режима зависит не только от характеристик материала и размеров поковки, но прежде всего от особенностей той или иной технологической операции [1, 4].

С позиции влияния на точность высотных размеров штампуемых поковок, все операции ХОШ делятся на две группы: операции, в которых деформирование исходных заготовок выполняется без сохранения их объема в рабочей полости или между осадочными плитами штампа, и операции, в которых условие сохранения объема выполняется.

В первом случае часть объема исходной заготовки в процессе ее деформирования вытесняется из рабочей полости штампа в стержень или стенку выдавливаемой поковки и поэтому погрешности объема исходной заготовки не оказывают влияния на высоту поковки. Жесткость поковок при таких условиях относительно мала, иногда на порядок меньше суммарной жесткости универсального кривошипного прессы со штампом. Для повышения точности высотных размеров подобных поковок применяют специальные кривошипные прессы для холодного выдавливания, жесткость которых в 2...3 раза больше жесткости универсальных кривошипных.

При выполнении операций выдавливания доминирующее влияние на точность высотных размеров поковок оказывает систематическая постоянная погрешность наладки, а также случайные погрешности, обусловленные рассеянием механических свойств материала поковок и возможным изменением условий контактного трения в штампе [3].

Вторую группу технологических операций представляют штамповка в закрытых штампах и осадка, разновидность которой – калибровка отличается лишь относительно малой степенью деформации поковок. В этих операциях сохранение (постоянство) объема исходных заготовок приводит к тому, что погрешность их объема вызывает не только изменение высоты поковок (контролируемый размер), но и их диаметра (компенсационный размер) при осадке. При выполнении штамповки в закрытом штампе роль компенсационного размера выполняют радиусы на кромках поковок в угловых элементах штампа. Как в первом, так и во втором случае контролируемый и компенсационный размеры связаны условием постоянства объема [2, 5]. Однако штамповка в закрытых штампах и осадка существенно различаются по величине жесткости поковок, что обусловлено столь же существенными различиями в относительной величине компенсационного размера, определяющего свободную поверхность поковок. В первом случае – это радиус на кромках поковки, величина которого в 20...50 раз меньше ее диаметра или высоты. Жесткость поковок, штампуемых в закрытых штампах, может в некоторых случаях на порядок превышать жесткость универсальных кривошипных прессов. Компенсационные возможности угловых элементов закрытого штампа ограничены, и их заполнение сопровождается резким ростом деформирующей силы, поэтому погрешность объема исходных заготовок

«компенсируется» в основном увеличением высоты поковок. Увеличение жесткости прессов для штамповки в закрытых штампах с целью повышения точности высоты поковок неэффективно. Поэтому целесообразно применение гидравлических прессов. При практически одинаковой точности высоты поковок гидравлические прессы лишены возможных перегрузок штампа и заклинивания, присущих кривошипным прессам [2, 6].

Как уже отмечалось, осадку от штамповки в закрытых штампах отличает существенно меньшая жесткость штампуемых поковок, и поэтому для повышения точности высотных размеров применяют кривошипные прессы.

В частности, для холодной калибровки стальных поковок, после их изготовления горячей объемной штамповкой, применяют специальные чеканочные прессы с большой жесткостью.

Рассмотрим осадку цилиндрических заготовок, применяемых в качестве штучных, при выполнении основных формоизменяющих операций ХОШ.

В этом случае выбор того или иного типа прессы основывается на иных критериях, которые диктуются особенностями последующих формоизменяющих операций [7].

Основным показателем геометрической точности цилиндрических заготовок после их осадки наряду с параллельностью торцевых поверхностей является точность их диаметральных размеров, так как она определяет точность расположения штучных заготовок в матрице формоизменяющей операции.

Известно, что наиболее жесткие требования по этому показателю предъявляют к заготовкам для последующей штамповки в закрытых штампах, а также для обратного выдавливания стаканов с относительно тонкой стенкой. Величина допуска на диаметр штучных заготовок в таких случаях колеблется от $\pm 0,5$ мм до $\pm 0,15$ мм. Наименее жесткие требования предъявляют к штучным заготовкам, применяемым для прямого выдавливания поковок типа «стержень с головкой» (от $\pm 0,2$ мм до $\pm 0,6$ мм) [7].

Очевидно, что при анализе точности операции осадки для изготовления штучных заготовок их высота должна рассматриваться как компенсационный размер, максимальное изменение которого под влиянием исходных погрешностей обеспечивает более высокую точность контролируемого размера – их диаметра.

Следует отметить, что как в нашей стране, так и за рубежом точность осадки, как правило, анализируется с позиции обеспечения высокой точности калибровки, ког-

да основной целью является повышение точности высотных размеров поковок [8]. При этом повышение точности высотных размеров достигается либо применением чеканочных кривошипно-коленных прес-сов большой жесткости, либо осадкой на гидравлических прессах с использованием жестких упоров, которые являются принадлежностью конструкции пресса [9, 10].

Постановка задачи

Цель выполненной работы – исследование возможности повышения точности диаметральных размеров осаживаемых цилиндрических поковок, применяемых в качестве штучных заготовок для основных формоизменяющих операций ХОШ.

Решение задачи

Для анализа точности диаметральных размеров осаживаемых цилиндрических заготовок использованы общие положения теории точности процессов объемной штамповки, основу которой составляют системный анализ и теория параметрической чувствительности систем. Ее применение позволяет получить функции чувствительности (ФЧ), отражающие степень влияния исходных параметров технологической системы на ее выходной параметр. Таким выходным параметром при осадке штучных заготовок, в отличие от калибровки, должен быть принят их диаметр [7].

При осадке исходная математическая модель представляется уравнением равновесия сил, действующих на систему кри-

вошипный пресс – штамп и осаживаемую поковку:

$$C(x_1 - H) - P(x_1, x_m, \dots, x_i, \dots, x_n) = 0, \quad (1)$$

и, если выполняется операция с сохранением объема исходной заготовки между плитами штампа для осадки, дополняется указанным условием:

$$V = V(x_1, x_m), \quad (2)$$

где C – коэффициент жесткости системы кривошипный пресс – штамп; H – настроечный размер, обеспечивающий получение высотного размера поковки x_1 ; x_m – ее компенсационный размер (диаметр); $x_i \dots x_n$ – характеристики материала поковки, коэффициент контактного трения и другие параметры, влияющие на силу сопротивления поковки деформированию и имеющие варируемость в достаточно узком диапазоне.

Уравнения (1) и (2) связывают исследуемые параметры системы – исходные и выходные. Связь между погрешностями этих параметров устанавливается линеаризацией (1) и (2), например аналитическим дифференцированием.

Полагая, что (1) и (2) непрерывны и дифференцируемы, а погрешности параметров взаимонезависимы и достаточно малы, после дифференцирования (1) и (2) и перехода от дифференциалов к конечным приращениям ($dx_i = \Delta x_i$) получим систему линейных уравнений, связывающих погрешности исходных и выходных параметров системы кривошипный пресс – штамп – поковка:

$$\begin{cases} \left(C - \frac{\partial P}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 - \frac{\partial P}{\partial x_m} \Delta x_m = \frac{\partial P}{\partial x_i} \Delta x_i + \dots + \frac{\partial P}{\partial x_n} \Delta x_n + C \Delta H \\ \frac{\partial V}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial V}{\partial x_m} \Delta x_m = \Delta V \end{cases} \quad (3)$$

Известно, что система (3) имеет единственное решение, определяемое формулой Г. Крамера:

$$\Delta x_{1i} = \frac{Dx_i}{D} \Delta x_i, \quad (4)$$

где D – определитель основной матрицы системы (3); Dx_i – определитель, полученный из D заменой первого столбца для x_1 на столбец из свободных членов. Последнее можно найти исходя из принципа независимости параметров, последовательно приравняв все погрешности, кроме одной, к нулю.

Отметим, что $\frac{Dx_i}{D}$ – абсолютные функ-

ции чувствительности выходной характеристики системы (x_1). Их применяют, когда все исходные параметры имеют одинаковую размерность. В иных случаях применяют относительные функции чувствительности.

Тогда для любой случайной погрешности, вызванной параметром x_i , получим

$$K_i = \frac{\delta x_1}{\delta x_i} = \frac{Dx_i}{D} \frac{x_i}{x_1}, \quad (5)$$

здесь K_i – коэффициент преобразования относительных погрешностей исходных пара-

метров (x_i) в относительную погрешность выходного параметра (x_1) – высоты поковки.

Применительно к анализу точности операций ХОШ численные значения функций чувствительности – коэффициенты преобразования (K_i) показывают, какая часть относительной исходной погрешности δx_i преобразуется в относительную погрешность высоты поковки δx_1 .

На основании (5) можно получить выражения для функций чувствительности – коэффициентов преобразования для любой случайной погрешности за исключением погрешности объема заготовки:

$$K_i = \frac{\delta x_1}{\delta x_i} = \frac{\frac{\partial P}{\partial x_i} \frac{x_i}{x_1}}{C - \frac{\partial P}{\partial x_1} + \frac{\partial P}{\partial x_m} \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{1}{\partial V}}. \quad (6)$$

Коэффициент преобразования случайной погрешности объема исходной заготовки получит вид

$$K_v = \frac{\delta x_1}{\delta V} = \frac{\frac{\partial P}{\partial x_m} \frac{1}{\partial V} \frac{V}{x_1}}{C - \frac{\partial P}{\partial x_1} + \frac{\partial P}{\partial x_m} \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{1}{\partial V}}. \quad (7)$$

Следует заметить, что (6) и (7) являются универсальными с точки зрения применяемого пресса: если в (6) и (7) принять $C = 0$ тогда получим соответствующие зависимости для осадки на гидравлическом прессе.

Влияние погрешностей исходных параметров на изменение другого выходного параметра системы – диаметра осажённой поковки (x_m) – теперь контролируемого размера, можно определить следующим образом:

$$K_{id} = \frac{Dx_m}{D} \frac{x_i}{x_m}, \quad (8)$$

где Dx_m – определитель основной матрицы системы (3) с заменой второго столбца для x_m столбцом из свободных коэффициентов системы. Пользуясь правилом Г. Крамера, определим зависимости для ФЧ и соответствующих коэффициентов преобразования относительных случайных погрешностей (δx_i) в относительную погрешность размера x_m (диаметра) поковки:

$$K_{id} = \frac{\delta x_m}{\delta x_i} = \frac{\frac{\partial P}{\partial x_i} \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{1}{\partial V} \frac{x_i}{x_m}}{C - \frac{\partial P}{\partial x_1} + \frac{\partial P}{\partial x_m} \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{1}{\partial V}}, \quad (9)$$

$$K_{vd} = \frac{\delta x_m}{\delta V} = \frac{\left(C - \frac{\partial P}{\partial x_1} \right) \frac{1}{\partial V} \frac{V}{x_m}}{C - \frac{\partial P}{\partial x_1} + \frac{\partial P}{\partial x_m} \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{1}{\partial V}}. \quad (10)$$

Для анализа случайных параметров, влияющих на точность размеров (d и h) осаживаемых поволоков, примем, что сила осадки определяется по формуле Э. Зибеля:

$$P = \sigma_s \frac{\pi d^2}{4} \left(1 + \mu \frac{d}{3h} \right), \quad (11)$$

где σ_s – напряжение текучести упрочняемого материала поковки с учетом интенсивности деформации; d и h – диаметр и высота поковки; μ – коэффициент контактного трения.

Условие постоянства объема поковки может быть принято без учета ее бочкообразности:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h. \quad (12)$$

Тогда формулы для коэффициентов преобразования относительных случайных погрешностей в относительную погрешность высоты поковки, с учетом (11) и (12), получат вид

$$K_\sigma = \frac{\delta h}{\delta \sigma_s} = \frac{\sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + \mu \frac{d}{3h} \right)}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + 2,5\mu \frac{d}{3h} \right)}, \quad (13)$$

$$K_v = \frac{\delta h}{\delta V} = \frac{\sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + \mu \frac{d}{2h} \right)}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + 2,5\mu \frac{d}{3h} \right)}. \quad (14)$$

Коэффициенты преобразования относительных случайных погрешностей в относительную погрешность диаметра осажённой поковки можно определить на основании (9) и (10):

$$K_{\sigma d} = \frac{\delta d}{\delta \sigma_s} = \frac{\sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + \mu \frac{d}{3h} \right) \cdot 0,5}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + 2,5\mu \frac{d}{3h} \right)}, \quad (15)$$

$$K_{vd} = \frac{\delta d}{\delta V} = \frac{\sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + \mu \frac{d}{2h} \right) \cdot 0,5}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + 2,5\mu \frac{d}{3h} \right)}, \quad (16)$$

$$K_{\mu d} = \frac{\delta d}{\delta \mu} = \frac{\sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \mu \frac{d}{3h} \cdot 0,5}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left(1 + 2,5 \mu \frac{d}{3h}\right)}. \quad (17)$$

Полученные зависимости для определения коэффициентов преобразования относительных случайных погрешностей $\delta\sigma_s$, δV и $\delta\mu$ в относительные погрешности как высоты, так и диаметра штучных цилиндрических поковок после их осадки как на гидравлическом, так и на кривошипном прессах позволяют выполнить сравнительный анализ точности их размеров в зависимости от типа применяемого пресса и цели решаемой задачи.

На рис. 1 представлены графики зависимости коэффициентов преобразования случайных погрешностей K_σ и K_V в погрешность высоты штучных заготовок после их осадки на гидравлическом и универсальном кривошипном прессах с номинальной силой 1000 кН в зависимости от соотношения размеров поковок (d/h) из стали 10 ($\sigma_s = 600$ МПа) диаметром 32 мм. Коэффициент контактного трения в расчетах принят $\mu = 0,15$ (без смазки), жесткость кривошипного пресса со штампом – 300 МН/м. Пунктирные линии на рисунке соответствуют результатам, вычисленным для гидравлического пресса. Равенство ($C = 0$) означает, что осадка на нем выполняется с упором в поковку, и в этом случае жесткость гидравлического пресса не оказывает влияния на погрешность высоты поковок.

Из анализа графиков на рис. 1 видно, что при равной величине исходных случайных погрешностей погрешность высоты поковок, осаживаемых на гидравлическом прессе, значительно превышает аналогичный показатель поковок, осаживаемых на универсальном кривошипном прессе. Соотношение указанных погрешностей зависит от жесткости поковок, определяемой отношением d/h , и заметно уменьшается при увеличении этого отношения от 18 ($d/h = 1$) до 4 ($d/h = 5$). Следует отметить, что в диапазоне относительных размеров поковок (d/h) от 1 до 3, практически 80 % и более величины исходных случайных погрешностей при осадке на гидравлическом прессе преобразуются в погрешность высоты поковок, а на кривошипном – менее 20 %. Это позволяет сделать вывод, что штучным заготовкам, изготавливаемым осадкой на гидравлическом прессе, обеспечивается более высокая точность диаметральным размерам по сравнению с осадкой на кривошипном прессе. Отметим, что полученные расчетным путем значения коэффициентов преобразования с высокой степенью точности подтверждаются результатами ранее выполненных экспериментальных исследований [2].

Используя методику расчета коэффициентов преобразования относительных исходных погрешностей, можно с достаточной для практических целей точностью прогнозировать погрешности диаметральных размеров поковок, осаживаемых на гидравлических прессах для применения их в качестве штучных заготовок для различных операций ХОШ.

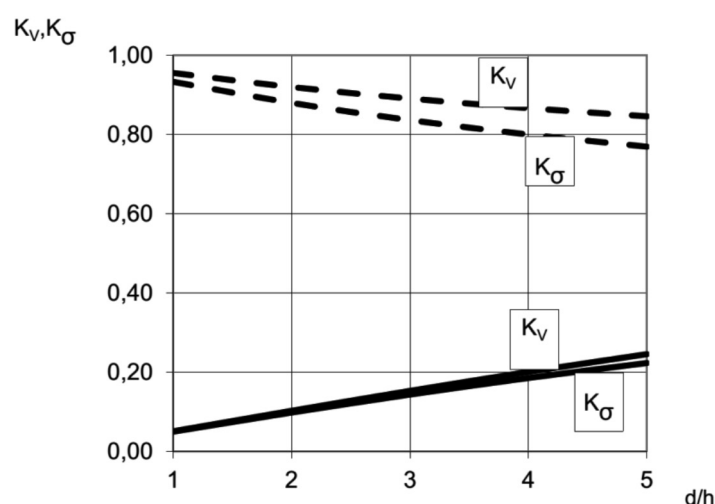


Рис. 1. Зависимость коэффициентов преобразования исходных относительных погрешностей в относительную погрешность высоты осаживаемых поковок от отношения d/h (сталь 10, $d = 32$ мм, $\mu = 0,15$). Сплошная линия – кривошипный пресс ($C = 300$ МН/м); пунктирная линия – гидравлический пресс ($C = 0$)

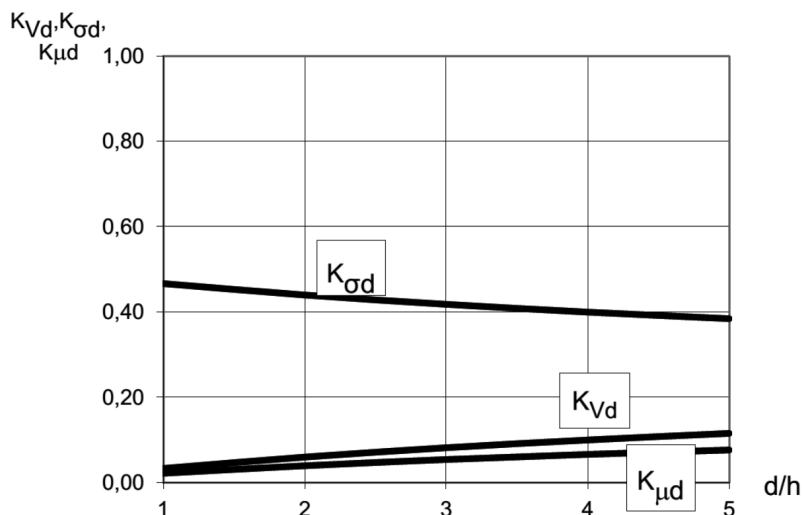


Рис. 2. Зависимость коэффициентов преобразования исходных относительных погрешностей в относительную погрешность диаметра осаживаемых поковок от их относительных размеров при осадке на гидравлическом прессе (сталь 10, $d = 32$ мм, $\mu = 0,15$)

На рис. 2 приведены графики изменения коэффициентов преобразования относительных исходных погрешностей $\delta\sigma_s$, δV и $\delta\mu$ в относительную погрешность диаметра поковок ($d = 32$ мм) в зависимости от отношения (d/h).

Из анализа графиков видно, что наибольшую чувствительность выходной параметр технологической системы – диаметр осаживаемых поковок – испытывает к возможному изменению (относительной погрешности) механических свойств материала исходных заготовок ($\delta\sigma_s$). Влияние этого фактора не столь существенно зависит от отношения (d/h), как погрешности (δV и $\delta\mu$).

Для того чтобы определить относительную или абсолютную погрешности диаметра (или высоты) поковки необходимо располагать знанием о величине исходных погрешностей, которые должны характеризоваться высокой статистической надежностью.

Для иллюстрации примера расчетов указанных погрешностей можно принять следующие данные статистических исследований, выполненных в производственных условиях. Анализировали сертифицированные репрезентативные выборки объемом более 120...130 штук калиброванных прутков нормальной точности диаметром от 14 мм до 30 мм и относительной длиной ($l/d = 1,5...2,5$), отрезанных на ленточно-пильных станках заготовок. Определено, что суммарная относительная погрешность объема исходных заготовок не превышает

2,0%, а относительная величина рассеяния напряжения текучести, определяемая по испытаниям на осадку образцов с торцевыми выточками не превышает 2,8–3,2% [3].

Располагая приведенными данными, можно определить относительные и абсолютные погрешности диаметра заготовки после осадки ($\varnothing 32 \times 16$ мм). Для этого случая: $K_{\sigma d} = 0,44$, $K_{Vd} = 0,06$ (рис. 2). Тогда

$$\delta d_{\sigma} = 0,44 \cdot 0,03 = 0,0132 (1,3\%),$$

$$\delta d_V = 0,06 \cdot 0,026 = 0,0016 (0,2\%).$$

Суммарную погрешность определим методом максимума-минимума (неблагоприятного случая), суммируя относительные погрешности:

$$\delta d = 1,3 + 0,2 = 1,5\%.$$

Тогда абсолютная погрешность диаметра поковок будет равна

$$\Delta d = 32 \cdot 0,015 = 0,48 (\pm 0,24) \text{ мм}.$$

Выводы

1. На основе анализа с применением коэффициентов преобразования случайных погрешностей исходных заготовок в погрешность высоты поковок после их осадки на гидравлическом и кривошипном прессах определено, что при осадке на гидравлическом прессе более 80% исходных случайных погрешностей преобразуется в погрешность высоты поковок по сравнению с 20%

на универсальном кривошипном прессе. Это позволяет изготавливать осадкой на гидравлическом прессе штучные заготовки с меньшей погрешностью их диаметра.

2. На основе теории параметрической чувствительности получены зависимости для определения коэффициентов преобразования исходных случайных погрешностей цилиндрических заготовок в погрешности диаметров поковок после осадки как на кривошипном, так и на гидравлическом прессах.

3. С помощью коэффициентов преобразования выполнен анализ влияния исходных погрешностей, обусловленных погрешностью объема, рассеянием механических свойств исходных заготовок, а также возможным изменением условий контактного трения в штампе на погрешности диаметра поковок, осаживаемых на гидравлическом прессе.

Список литературы

1. Антонюк Ф.И., Вяткин А.Г. Выбор пресса для холодной объемной штамповки по критерию точности поковок // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 2000. – № 4. – С. 25–29.
2. Антонюк Ф.И., Вяткин А.Г. Точность холодной осадки цилиндрических заготовок // КШП. ОМД. – 2000. – № 10. – С. 16–21.
3. Воронцов А.Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением: учебное пособие: в 2 т. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
4. Вяткин А.Г., Вяткин А.А. Факторы, влияющие на точность осадки при штамповке на гидравлическом прессе // Наука и Образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 12. – С. 29–38.
5. Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Сравнительный анализ винтовых и кривошипных прессов по критерию точности высотных размеров осаживаемых поковок // Заготовительные производства в машиностроении. – 2014. – № 7. – С. 17–23.
6. Ланской Е.Н., Антонюк Ф.И., Вяткин А.Г. Точность поковок, изготавливаемых холодной объемной штамповкой на кривошипных и гидравлических прессах // КШП. ОМД. – 2002. – № 1. – С. 25–29.
7. Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унков, У. Джонсон, В.А. Колмогоров и др.; Под ред.

Е.П. Ункова, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.

8. Ghiotti A., Bariani P.F. Evaluating the Press stiffness in Realistic Operating Condition // Advanced Methods in Material forming. Springer Berlin Heidelberg. – 2007. – P. 189–198.

9. Kajtoch J. Strain in the upsetting processes // Metallurgy and foundry engineering. – 2007. Vol. 33. – № 1. – P. 51–61.

10. Kroi B., Engel U., Merklein M. Comprehensive approach for process modeling and optimization in cold forging considering interactions between process, toll and press // Journal of Materials Processing Technology. – 2013. Vol. 213. – № 7.7. – P. 1118–1127.

References

1. Antonjuk F.I., Vjatkin A.G. Vybor pressa dlja holodnoj obemnoj shtampovki po kriteriju tochnosti pokovok // Vestnik MGTU. Mashinostroenie. 2000. no. 4. pp. 25–29.
2. Antonjuk F.I., Vjatkin A.G. Tochnost holodnoj osadki cilindricheskikh zagotovok // KShP. OMD. 2000. no. 10. pp. 16–21.
3. Voroncov A.L. Teorija i raschety processov obrabotki metallov davleniem: uchebnoe posobie: v 2t. M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2014.
4. Vjatkin A.G., Vjatkin A.A. Faktory, vlijajushhie na tochnost osadki pri shtampovke na gidravlicheskom presse // Nauka i Obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.Je. Baumana. 2012. no. 12. pp. 29–38.
5. Vjatkin A.G., Matveev S.V. Sravnitelnyj analiz vintovyh i krivoshipnyh pressov po kriteriju tochnosti vysotnyh razmerov osazhivaemyh pokovok // Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii. 2014. no. 7. pp. 17–23.
6. Lanskoy E.N., Antonjuk F.I., Vjatkin A.G. Tochnost pokovok, izgotavlivaemyh holodnoj obemnoj shtampovkoj na krivoshipnyh i gidravlicheskih pressah // KShP. OMD. 2002. no. 1. pp. 25–29.
7. Teorija plasticheskikh deformacij metallov / E.P. Unkov, U. Dzhonson, V.A. Kolmogorov i dr.; Pod red. E.P. Unksova, A.G. Ovchinnikova. M.: Mashinostroenie, 1983. 598 p.
8. Ghiotti A., Bariani P.F. Evaluating the Press stiffness in Realistic Operating Condition // Advanced Methods in Material forming. Springer Berlin Heidelberg. 2007. pp. 189–198.
9. Kajtoch J. Strain in the upsetting processes // Metallurgy and foundry engineering. 2007. Vol. 33. no. 1. pp. 51–61.
10. Kroi B., Engel U., Merklein M. Comprehensive approach for process modeling and optimization in cold forging considering interactions between process, toll and press // Journal of Materials Processing Technology. 2013. Vol. 213. no. 7.7. pp. 1118–1127.