

На правах рукописи

**МАТВЕЕВ Сергей Валентинович**

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОКОВОК ПРИ ОСАДКЕ  
НА ПРЕССОВОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Специальность 05.02.09  
Технологии и машины обработки давлением

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Калуга 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Калужском филиале Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана»

Научный руководитель : Вяткин Андрей Геннадьевич,  
кандидат технических наук, доцент,

Официальные оппоненты: Шестаков Николай Александрович,  
доктор технических наук, профессор,  
декан автомобильного факультета,  
ФГБОУ ВПО «Московский  
государственный индустриальный  
университет»,

Булычев Владимир Александрович,  
кандидат технических наук, доцент,  
главный специалист ОАО «Центральное  
конструкторское бюро аппаратостроения»  
(г. Тула)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО « Московский  
государственный машиностроительный  
университет (МАМИ)»

Защита диссертации состоится « 25» июня 2014 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.01 при ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г. Тула, просп. Ленина, д. 92, ауд. 9-101.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по вышеуказанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»  
[http: // tsu.tula.ru/science/dissertation/diss-212-271-01/matveev-sv/](http://tsu.tula.ru/science/dissertation/diss-212-271-01/matveev-sv/).

Автореферат разослан « 6 » мая 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

А.В. Черняев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Применение ресурсосберегающих технологий в основных направлениях машиностроения является неотъемлемой частью современного производства. Холодная объемная штамповка (ХОШ) позволяет получить заготовки, наиболее полно соответствующие форме и размерам готовых деталей, что, в свою очередь, позволяет сократить расход материала, а также затраты, связанные с последующей механической обработкой. Основная часть операций холодной объемной штамповки в настоящее время выполняется на кривошипных прессах. Считается, что данное оборудование наиболее универсально. Однако это не говорит об их преимуществе перед винтовыми прессами, а лишь отражает их баланс в парке кузнечно-прессовых машин (около 85 % парка всех прессов в Российской промышленности составляют кривошипные). Винтовые прессы по сравнению с кривошипными имеют ряд недостатков, такие как, меньшая производительность и, как утверждается, низкое качество штампуемых поковок. Но наряду с недостатками, они обладают преимуществами - это большая энергоемкость, отсутствие стопорных положений ползуна. Для операций осадки, где требуется большая деформирующая сила, применение винтовых прессов более предпочтительно. На предприятиях винтовые прессы в основном используются в условиях единичного, мелкосерийного производства и поэтому не полностью загружены. Особой проблемой является штамповка заготовок из труднодеформируемых материалов, к которым предъявляются повышенные требования по качеству. При штамповке таких заготовок возникают существенные погрешности, важнейшей из которых является погрешность высотных размеров. Все это вызывает необходимость применения дополнительных операций, что неизбежно приводит к повышению затрат на изготовление.

Экономическая эффективность процессов ХОШ в значительной степени зависит от качественных показателей изготавливаемых изделий. Одним из важнейших показателей поковок является размерная точность.

Большинство авторов при анализе операций холодной объемной штамповки исследовали влияние на погрешность высоты поковок случайных факторов (рассеяния механических свойств материала поковок, колебаний объема исходных заготовок, возможных изменений условий контактного трения и др.), не учитывая систематической постоянной погрешности наладки прессов. Лишь в некоторых работах, в основном экспериментального характера, отмечалась проблема влияния погрешности наладки на точность штамповки.

Таким образом, теоретическое обоснование повышения качественного показателя цилиндрических поковок при изготовлении на винтовых прессах является актуальной задачей.

**Цель работы:** Повышение эффективности изготовления цилиндрических поковок на основе параметрического анализа винтовых и кривошипных прессов.

**Задачи исследования:**

1. Разработать математические модели для определения погрешностей размеров поковок при осадке на основе применения положений теории параметрической чувствительности.

2. Выявить наиболее значимые факторы: погрешность объема; рассеяние механических свойств материала; изменение условий контактного трения, вносимое исходной заготовкой, влияющие на погрешность высотных размеров поковок, с учетом их жесткости.

3. Получить экспериментально-статистические модели качественного параметра при выполнении операции осадки на кривошипных и винтовых прессах.

4. Установить факторы, которые возникают при выполнении технологических процессов ХОШ, позволяющие управлять точностью штамповки на винтовых прессах.

5. На основе исследований дать практические рекомендации по рациональной области применения винтовых прессов.

**Объект исследования:** технологические операции осадки, выполняемые на винтовых и кривошипных прессах.

**Предмет исследования:** точность поковок при выполнении операции осадки с учетом жесткости поковки и характеристик применяемого прессового оборудования.

**Методы исследования:** теоретические исследования базировались на основных положениях теории параметрической чувствительности и прикладной теории пластичности при обработке металлов давлением. Экспериментальные исследования проводились на основе планирования и реализации полных факторных экспериментов с последующей статистической обработкой результатов.

**Научная новизна** заключается:

- в установленном с применением функций чувствительности характере доминирующих факторов, оказывающих влияние на высотные размеры поковок, штампуемых на винтовых прессах, в которых учтены параметры поковок, характеризующие их жесткость, а также исходные погрешности при выполнении операции осадки.

**Практическая значимость работы** заключается:

- в предложенных практических рекомендациях по повышению качественного показателя при выполнении операции осадки на винтовых прессах с упором в поковку;

- в определении рациональной области применения винтовых и кривошипных прессов по критерию высотных размеров поковок.

**На защиту выносятся:**

- результаты теоретических исследований качественного показателя поковок на основе положений теории параметрической чувствительности;

- математические модели, описывающие влияние входных параметров на погрешность высотных размеров поковок, штампуемых на винтовых прессах;

- практические рекомендации по выбору рациональной области применения винтового пресса.

### **Апробация работы**

Основные положения и материалы работы доложены и обсуждены на Всероссийской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении» (г.Калуга, 2009 – 2011гг.).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 10 статей, из них 6 - в рецензируемых изданиях, внесенных в список ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Настоящая работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка литературы и приложений. Работа выполнена на 124 страницах машинописного текста, содержит 28 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 99 наименований.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы основные положения, определяющие ее научную новизну.

**Первая глава** посвящена обзору работ, в которых рассматривались: проблема выбора пресса; вопросы, связанные с обеспечением качественных показателей поковок при выполнении операции осадки; расчетно-аналитические и опытно-статистические методы анализа погрешности высотных размеров поковок.

При анализе работ, в которых рассматривались вопросы качественных показателей штамповки (Евстратов В.А., Ланской Е.Н., Попов Е.А., Сторожев М.В и др.), определены факторы, оказывающие влияние на погрешность высотных параметров поковок, при выполнении операций осадки. Было отмечено, что влияние случайных факторов на точность высотных размеров в существенной мере зависит от жесткости поковок. Среди расчетно-аналитических методов анализа качества операций объемной штамповки следует выделить методику, основанную на общих положениях теории параметрической чувствительности, которая является достаточно универсальной. Основные положения этой теории впервые были применены Ланским Е.Н. при определении рациональной жесткости кривошипных прессов. Однако она может применяться и для исследования качественных показателей операций, выполняемых как на кривошипных, так и на винтовых прессах.

**Во второй главе** представлены теоретические исследования качественного показателя операции осадки, выполняемой на кривошипных и винтовых прессах. Использовалась методика, основанная на положениях теории параметрической чувствительности. В основе этой методики лежит системный подход, согласно которому технологическая система рассматривается как совокупность элементов, связанных структурно и функционально. Данная методика позволяет получить функции чувствительности, характеризующие степень влияния входных параметров технологической системы (исходных погрешностей) на выходной параметр (высотных размеров поковок).

Чувствительность технологической системы к влиянию исходных погрешностей существенно зависит от характера связей, действующих в ней. Процесс деформирования системы для кривошипного прессы можно представить в виде равенства силы, действующей на ее упругие звенья, и силы сопротивления поковки деформированию:

$$C(x_1 - H) = P(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n), \quad (1)$$

Для винтовых прессов присущ энергетический характер связей, когда в конечный момент деформирования взаимное положение подвижной и неподвижной частей штампа устанавливается исчерпанием накопленной кинетической энергии до начала рабочего хода:

$$E = (1 + k_f) \left( A(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) + \frac{P^2(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)}{2C} \right), \quad (2)$$

где  $C$  - жесткость системы «пресс - штамп»;  $H$  - штамповая высота;  $P(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$  - сила сопротивления поковки деформированию как функция параметров  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ ,  $k_f$  - коэффициент, учитывающий потери на трение,  $A(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$  - работа деформирования поковки.

При ХОШ  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  - это геометрические характеристики штампуемой поковки, механические свойства ее материала, значения коэффициента трения на контактных поверхностях, погрешности объема исходной заготовки и некоторые другие параметры, влияющие на величину силы сопротивления, причем  $x_1$  - размер, замыкаемый упругой связью (высота поковки), а  $x_2$  - так называемый компенсационный размер (диаметральный размер).

Для осадки процесс деформирования исходной заготовки осуществляется при сохранении всего ее объема между деформирующими поверхностями штампа. Функцию, описывающую деформирование технологической системы, необходимо дополнить условием постоянства объема:

$$V = V(x_1, x_2). \quad (3)$$

Основываясь на принципе независимости действия погрешностей параметров технологических систем, а также полагая функции (1) и (3) непрерывными и дифференцируемыми, их полные дифференциалы получат вид:

$$\begin{cases} \left( C - \frac{\partial P}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 - \frac{\partial P}{\partial x_2} \Delta x_2 = \frac{\partial P}{\partial x_i} \Delta x_i + \dots + \frac{\partial P}{\partial x_n} \Delta x_n, \\ \frac{\partial V}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial V}{\partial x_2} \Delta x_2 = \Delta V. \end{cases}$$

Решив эту систему по известной методике, получим выражение для определения погрешности высоты поковки, штампуемой с выполнением условия сохранения всего ее объема в полости штампа на кривошипном прессы и вызванная лишь погрешностью  $\Delta x_i$ :

$$\Delta x_{1_i} = \frac{\frac{\partial P}{\partial x_i}}{C - \frac{\partial P}{\partial x_1} + \frac{\partial P}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot \frac{1}{\frac{\partial V}{\partial x_2}}} \cdot \Delta x_i. \quad (4)$$

Переходя к относительным погрешностям  $\delta x_1 = \frac{\Delta x_1}{x_1}$ ,  $\delta x_i = \frac{\Delta x_i}{x_i}$ ,  $\delta V = \frac{\Delta V}{V}$ , выражение (4) примет вид:

$$\delta x_{1_i} = \frac{\Delta x_{1_i}}{x_1} = \frac{\frac{\partial P}{\partial x_i}}{C - \frac{\partial P}{\partial x_1} + \frac{\partial P}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot \frac{1}{\frac{\partial V}{\partial x_2}}} \cdot \frac{x_i}{x_1} \cdot \delta x_i, \quad (5)$$

Формулу (5) можно привести к следующему виду:  $\delta x_{1_i} = K_{x_i} \cdot \delta x_i$ , где  $K_{x_i}$  – относительная функция чувствительности,

$$K_{x_i} = \frac{\delta x_{1_i}}{\delta x_i} = \frac{\frac{\partial P}{\partial x_i}}{C - \frac{\partial P}{\partial x_1} + \frac{\partial P}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot \frac{1}{\frac{\partial V}{\partial x_2}}} \cdot \frac{x_i}{x_1}. \quad (6)$$

Для винтовых прессов, при условии сохранения всего объема заготовки между деформирующими поверхностями штампа, система уравнений принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \left( C \frac{\partial A}{\partial x_1} + P \frac{\partial P}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 + \left( C \frac{\partial A}{\partial x_2} + P \frac{\partial P}{\partial x_2} \right) \Delta x_2 = - \left( C \frac{\partial A}{\partial x_i} + P \frac{\partial P}{\partial x_i} \right) \Delta x_i, \\ \frac{\partial V}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial V}{\partial x_2} \Delta x_2 = 0. \end{cases}$$

Решив систему аналогичным образом, как для кривошипного пресса, получим функции чувствительности для винтового пресса:

$$K_{x_i} = \frac{\delta x_{1_i}}{\delta x_i} = \frac{C \frac{\partial A}{\partial x_i} + P \frac{\partial P}{\partial x_i}}{\left( C \frac{\partial A}{\partial x_2} + P \frac{\partial P}{\partial x_2} \right) \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{1}{\frac{\partial V}{\partial x_2}} - \left( C \frac{\partial A}{\partial x_1} + P \frac{\partial P}{\partial x_1} \right)} \cdot \frac{x_i}{x_1}. \quad (7)$$

Сила сопротивления поковки деформированию при осадке определяется по известной формуле Э.Зибеля:

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \sigma_s \left( 1 + \mu \frac{d}{3h} \right), \quad (8)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести материала поковки с учетом его упрочнения,  $d$  и  $h$  – диаметр и высота поковки,  $\mu$  – коэффициент контактного трения.

Условие постоянства объема исходной заготовки может быть представлено в виде:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h. \quad (9)$$

Вычислив частные производные функций (8) и (9) и подставив их в формулы (6), (7), получим выражения относительных коэффициентов чувствительности для операции осадки, выполняемой на кривошипном прессе:

$$K_\sigma = \frac{\frac{\pi d^2}{4h} \cdot \sigma_s \cdot \left(1 + \mu \frac{d}{3h}\right)}{C + \frac{\pi d^2}{4h} \cdot \sigma_s \cdot \left(1 + \mu \frac{5d}{6h}\right)}, \quad K_\mu = \frac{\mu \cdot \frac{\pi d^2}{4h} \cdot \sigma_s \cdot \frac{d}{3h}}{C + \frac{\pi d^2}{4h} \cdot \sigma_s \cdot \left(1 + \mu \frac{5d}{6h}\right)}, \quad K_V = \frac{\frac{\pi d^2}{4h} \cdot \sigma_s \cdot \left(1 + \mu \frac{d}{2h}\right)}{C + \frac{\pi d^2}{4h} \cdot \sigma_s \cdot \left(1 + \mu \frac{5d}{6h}\right)}.$$

Функции чувствительности для операции осадки, выполняемой на винтовом прессе, можно представить в виде:

$$K_\sigma = \frac{C \left( \frac{1}{1-\varepsilon} - 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} \cdot \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right) + \frac{P}{h} \left( 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} \right)}{C \left( \frac{1}{1-\varepsilon} + \frac{\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \left( 2 + 3 \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right) \right) + \frac{P}{h} \left( 1 + \frac{5\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \right)}, \quad K_\mu = \frac{C \cdot \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} \cdot \ln \frac{1}{1-\varepsilon} + \frac{P}{h} \cdot \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}}{C \left( \frac{1}{1-\varepsilon} + \frac{\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \left( 2 + 3 \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right) \right) + \frac{P}{h} \left( 1 + \frac{5\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \right)},$$

$$K_V = \frac{C \left( \frac{1}{1-\varepsilon} - 1 + \frac{\mu}{2} \cdot \frac{d}{h} \cdot \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right) + \frac{P}{h} \left( 1 + \frac{\mu}{2} \cdot \frac{d}{h} \right)}{C \left( \frac{1}{1-\varepsilon} + \frac{\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \left( 2 + 3 \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right) \right) + \frac{P}{h} \left( 1 + \frac{5\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \right)}.$$

На рис.1 представлены графики зависимостей коэффициентов преобразования от отношения  $d/h$  при осадке поковок диаметром 25 мм из стали 45 ( $\sigma_s = 790$  МПа,  $\varepsilon = 0,34$ ,  $\mu = 0,1$ ).

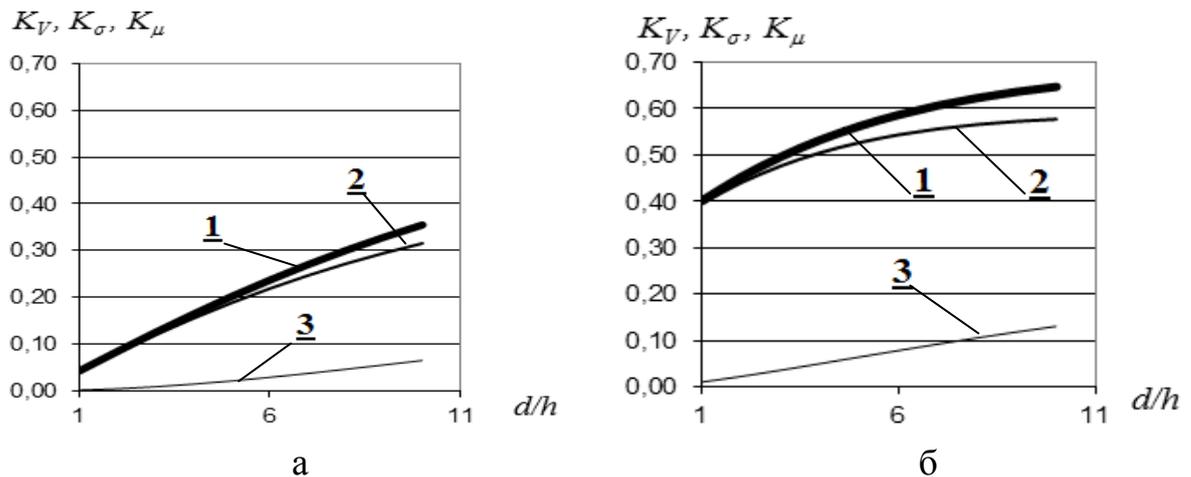


Рис.1. Зависимость коэффициентов: 1-  $K_V$ ; 2-  $K_\sigma$ ; 3-  $K_\mu$ , от жесткости поковки (отношения  $d/h$ ): а- для кривошипного прессы, б – для винтового прессы

Из анализа графиков рис.1 видно, что с увеличением отношения  $d/h$  (или жесткости поковки) значения коэффициентов возрастают, что означает повышение влияния рассматриваемых факторов ( $\delta\sigma_s$ ,  $\delta\mu$ ,  $\delta V$ ) на погрешность высоты осаживаемой поковки с повышением жесткости поковки.

На рис. 2 представлены графики влияния жесткости системы «пресс - штамп» на величину коэффициентов преобразования для кривошипного и винтового прессы.

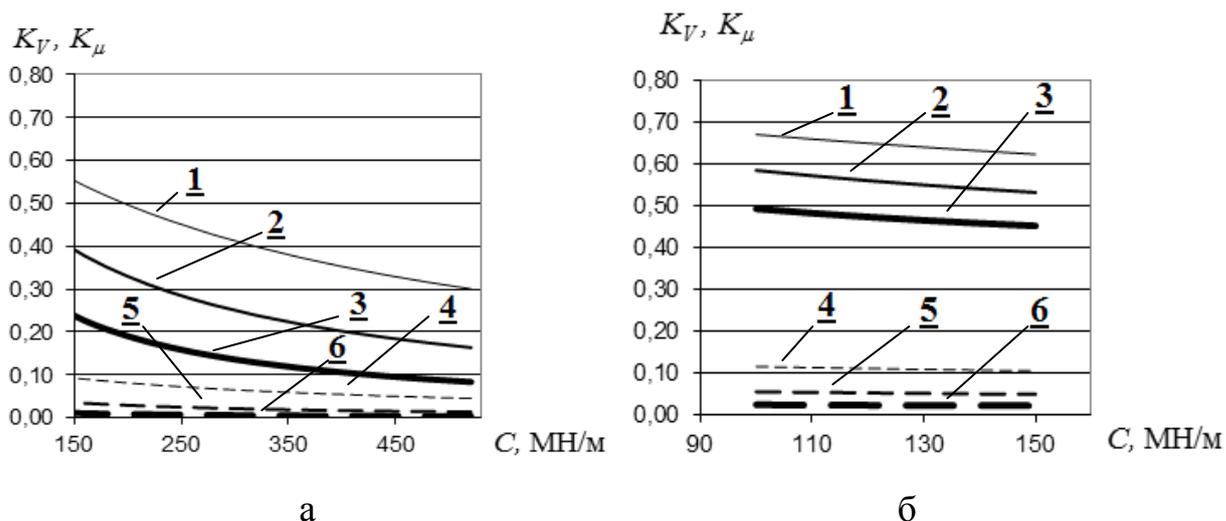


Рис. 2. Зависимость коэффициентов  $K_V$  и  $K_\mu$  от жесткости системы «пресс - штамп»: 1 – коэффициент  $K_V$  ( $d/h=8$ ), 2 –  $K_V$  ( $d/h=4$ ), 3 –  $K_V$  ( $d/h=2$ ), 4– коэффициент  $K_\mu$  ( $d/h=8$ ), 5 –  $K_\mu$  ( $d/h=4$ ), 6 –  $K_\mu$  ( $d/h=2$ ):  
а – кривошипный пресс, б – винтовой пресс

Из анализа полученных зависимостей рис. 2 видно, что с увеличением жесткости системы «пресс-штамп» для кривошипного и винтового прессы снижаются значения коэффициентов  $K_V$  и  $K_\mu$ .

Использование коэффициентов (функций) чувствительности при расчете погрешностей высотных размеров поковок, позволяет определять при выполнении операции осадки влияние доминирующих факторов на точность поковок.

**Третья глава** посвящена экспериментальному исследованию качественного показателя операции осадки, выполняемой на винтовом прессе.

Расчетно-аналитические методы, рассмотренные в главе 2, при анализе точности ХОШ не всегда в полной мере отражают влияние факторов на выходной параметр, поскольку они являются моделями неполной аналогии. Следовательно, теоретические исследования необходимо дополнять экспериментальными.

Применена методика планирования и реализации многофакторных экспериментов, в основе которой также лежит системный подход.

Все эксперименты проводились на винтовом прессе Ф-1730А с номинальной силой  $P = 1000$  кН. Материал поковок - сталь 45. Отношение размеров поковок  $d/h$  соответственно  $d/h=2$  ( $\varnothing 25 \times 12,5$ ) и  $d/h=4$  ( $\varnothing 25 \times 6,25$ ).

На основе экспериментальных исследований Ф.И. Антонюка выбраны уровни варьируемых факторов и интервалов в (табл. 1).

Для операции осадки-калибровки в качестве факторов, влияющих на величину отклика (относительную погрешность высоты поковок  $\delta h$ ), приняты объемные погрешности исходных заготовок, вызванные

отклонениями их высоты  $\delta V_h$ ; возможные колебания напряжения текучести материала  $\delta\sigma_s$ ; отношение диаметра поковок к их высоте  $d/h$ , характеризующее при прочих равных условиях жесткость поковок

Таблица.1

Факторы	Уровни факторов			Интервалы
	+1	0	-1	
$x_1 (\delta V_h)$	10%	7,5%	5%	2,5%
$x_2 (\delta\sigma_s)$	10%	7,5%	5%	2,5%
$x_3 (d/h)$	4	3	2	1

При статистической обработке результатов многофакторного эксперимента (табл.1) получена адекватная регрессионная модель в кодированном масштабе уровней факторов:

$$y(\delta h, \%) = 9,71 + 3,30x_1 + 1,17x_2 + 0,75x_3 + 0,34x_1x_2 + 0,15x_1x_3.$$

Величина и знак коэффициентов в уравнении регрессии говорят о величине и характере влияния исследуемых факторов на относительную погрешность высоты поковки. Из анализа полученной модели видно, что с увеличением погрешностей  $\delta V_h$  и  $\delta\sigma_s$  величина относительной погрешности высоты поковки  $\delta h$  также увеличивается, о чем свидетельствует знак «+» при соответствующих коэффициентах. Причем сила влияния на величину отклика относительной погрешности объема  $\delta V_h$ , значительно больше влияния  $\delta\sigma_s$  (почти в три раза). Это объясняется тем, что при увеличении высоты исходной заготовки возрастает степень деформации и, как следствие, повышается деформационное упрочнение материала поковки, что, в свою очередь, приводит к росту погрешности высоты поковки. Коэффициент при  $d/h$  в уравнении регрессии также положителен. Это означает, что с увеличением отношения  $d/h$  относительная погрешность высоты поковки повышается соответственно при увеличении жесткости поковки, определяемой отношением  $d/h$ , качественный показатель осадки на винтовом прессе снижается. Следует отметить совместное влияние  $\delta\sigma_s$  и  $d/h$  на точность высоты поковки. Из анализа полученной модели видно, что при совместном воздействии факторов возможно уменьшение погрешности высотных размеров, связанных с изменением параметров поковки.

Из контролируемых факторов, к которым относятся  $x_2(\varepsilon)$  и  $d/h$ , следует выделить факторы, позволяющие управлять качественными показателями осадки. Так как величина  $d/h$  является заданной, то по существу одним из основных факторов позволяющих управлять точностью осадки на винтовых прессах, является степень деформации  $\varepsilon$ . С ее уменьшением точность повышается:

$$y(\delta h, \%) = 8,58 + 1,64x_1 + 1,40x_2 + 1,84x_3 + 0,71x_2x_3.$$

Также получены частные модели для определения влияния жесткости системы «пресс-штамп»  $x_2$  ( $C$ ) на погрешность поковок в зависимости от их относительной высоты (жесткости):

$$y(\delta h, \%) = 8,9 + 1,10x_1 - 0,44x_2 + 1,29x_3 + 0,14x_1x_2 - 0,22x_2x_3.$$

Из анализа уравнения видно, что влияние на точность осаживаемых поковок незначительно. Это еще раз свидетельствует о том, что жесткость винтового прессы практически не влияет на погрешность высотных размеров поковок.

Регрессионный анализ результатов многофакторных экспериментов был дополнен дисперсионным анализом, который позволил определить вклад каждого из факторов и их взаимодействий в общую дисперсию отклика.

**В четвертой главе** приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния погрешности наладки (настройки) кривошипных и винтовых прессов на качественный показатель высотных размеров поковок.

Основным параметром, подлежащим регулированию в процессе наладки кривошипных прессов, является величина закрытой штамповой высоты  $H$ , для винтовых прессов - величина накопленной кинетической энергии  $E$ .

При наладке любой технологической системы (ТС) неизбежно появление погрешности наладки, так как нельзя каждый раз добиться одного и того же значения регулируемого параметра. То есть наладка кривошипных прессов сопровождается изменением закрытой штамповой высоты  $\Delta H$ , у винтовых прессов – появлением погрешности  $\Delta E$ . Влияние любой погрешности, возникающей при выполнении операций холодной объемной штамповки (ХОШ), на качественный показатель высотных размеров поковок в существенной мере зависит от характера связей в технологической системе.

На основе положений теории параметрической чувствительности получены выражения для коэффициентов (функций) преобразования при осадке поковки на кривошипном прессе  $A_H$  и винтовом  $A_E$ :

$$A_H = \frac{C}{C + \sigma_s \frac{\pi d^2}{4h} \left( \frac{5\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} + 1 \right)}, \quad A_E = - \frac{C}{(1 + k_f) \cdot \sigma_s \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left[ C \left( \frac{1}{1-\varepsilon} + \frac{\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \left( 2 + 3 \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right) \right) + \frac{P}{h} \left( 1 + \frac{5\mu}{6} \cdot \frac{d}{h} \right) \right]}.$$

Из анализа полученных функций чувствительности видно, что при штамповке на винтовом и кривошипном прессах с упором в поковку чувствительность выходного параметра к погрешности наладки зависит от жесткости поковки и системы «пресс-штамп».

Известно, что объективным критерием, позволяющим оценить качественный показатель, является относительная погрешность

$$-\delta h = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\%.$$

Используя формулы  $\Delta h_H = A_H \cdot \Delta H$  и  $\Delta h_E = A_E \cdot \Delta E$ , рассчитаем относительные погрешности высоты поковок, вызванные погрешностью наладки, для кривошипного и винтового прессов. При этом

необходимо учитывать то, что погрешности  $\Delta H$  и  $\Delta E$  являются абсолютными величинами, так как они зависят только от точности регулирующих устройств. Для кривошипного пресса погрешность настройки  $\Delta H = 0,5$  мм вне зависимости от того, на какую штамповую высоту  $H$  он настраивается. Для винтового пресса  $\Delta E = 500$  Дж, что соответствует 1 см регулировочной линейки винтового пресса, также вне зависимости от того, какую величину энергии  $E$  требуется установить. Результаты расчетов в виде графиков представлены на рис. 3

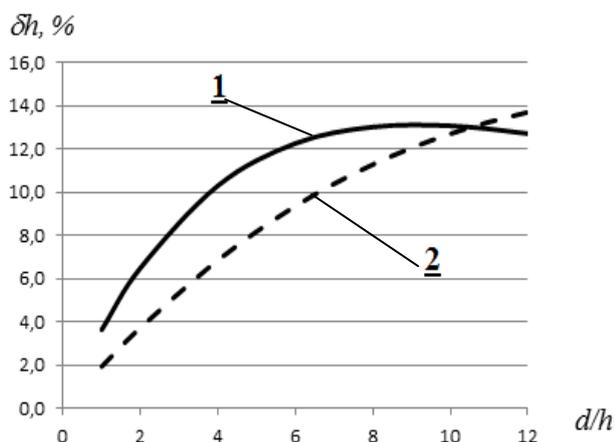


Рис.3. Зависимость относительной погрешности высоты поковки  $\delta h$  от жесткости поковки ( $d/h$ ): 1 – для винтового пресса ( $C = 150$  МН/м), погрешность наладки  $\Delta E = 500$  Дж; 2 – для кривошипного пресса ( $C = 520$  МН/м), погрешность наладки  $\Delta H = 0,5$  мм

Из анализа графиков рис. 3 видно, что с увеличением жесткости поковок возрастает относительная погрешность, вызванная погрешностью наладки, то есть качественный показатель высотных размеров поковок снижается. Однако, если для кривошипного пресса зависимость погрешности высотных размеров от жесткости поковки является практически линейной, тогда как для винтовых прессов, начиная с отношения  $d/h = 8$ , при дальнейшем повышении жесткости поковок относительная погрешность их высоты практически не зависит от отношения  $d/h$ . В частности, для кривошипного пресса при изменении относительных размеров поковок с  $d/h = 2$  до  $d/h = 4$  погрешность увеличивается примерно в 2 раза, для винтового пресса это увеличение составляет 1,5 раза. При изменении относительных размеров поковок с  $d/h = 8$  до  $d/h = 10$  относительная погрешность высоты поковок, осаживаемых на кривошипном прессе, увеличивается в 1,13 раза, на винтовом прессе – практически не меняется.

Для исследования влияния погрешности настройки кривошипного и винтового прессов, и относительных размеров поковок  $d/h$  на погрешность их высоты  $\delta h$  для операции осадки был реализован многофакторный эксперимент.

Получены регрессионные модели:  
для кривошипного пресса

$$y(\delta h_H, \%) = 10,68 + 3,15x_1 + 1,96x_2 - 0,02x_1x_2,$$

для винтового пресса

$$y(\delta h_E, \%) = 6,99 + 1,26x_1 + 0,054x_2 - 0,004x_1x_2.$$

Из анализа уравнений видно, что повышением погрешности наладки и жесткости поковок для кривошипного и винтового прессов увеличивается погрешность высотных размеров поковки. Погрешность наладки оказывает большее влияние на погрешность высоты поковок по сравнению с жесткостью поковки, это справедливо для обоих типов прессов. Однако видны и существенные различия между кривошипным и винтовым прессами. Так, если для кривошипного пресса сила влияния жесткости поковки меньше силы влияния погрешности наладки в 1,6 раза, то для винтового пресса – в 1,3 раза. Отсюда следует вывод, что при осадке жестких поковок ( $d/h \geq 8$ ) на винтовом прессе дальнейшее повышение жесткости поковок практически не влияет на погрешность высотных размеров.

**Пятая глава** посвящена сравнительному анализу качественных показателей операций холодной объемной штамповки, выполняемых на винтовых и кривошипных прессах на основе теоретических и экспериментальных исследований.

Сравнивая винтовой и кривошипный прессы по критерию качественного показателя высотных размеров поковок, необходимо учитывать особенности конструкции, режимов работы и специфику наладки, которые влияют на параметры качественного показателя поковки.

Анализ выполнялся на основе применения теории параметрической чувствительности и методов математической теории планирования многофакторных экспериментов. Результаты расчетов в виде графиков, показывающих зависимость относительной погрешности высоты поковок ( $\delta h$ ) от их жесткости ( $d/h$ ), представлены на рис. 4.

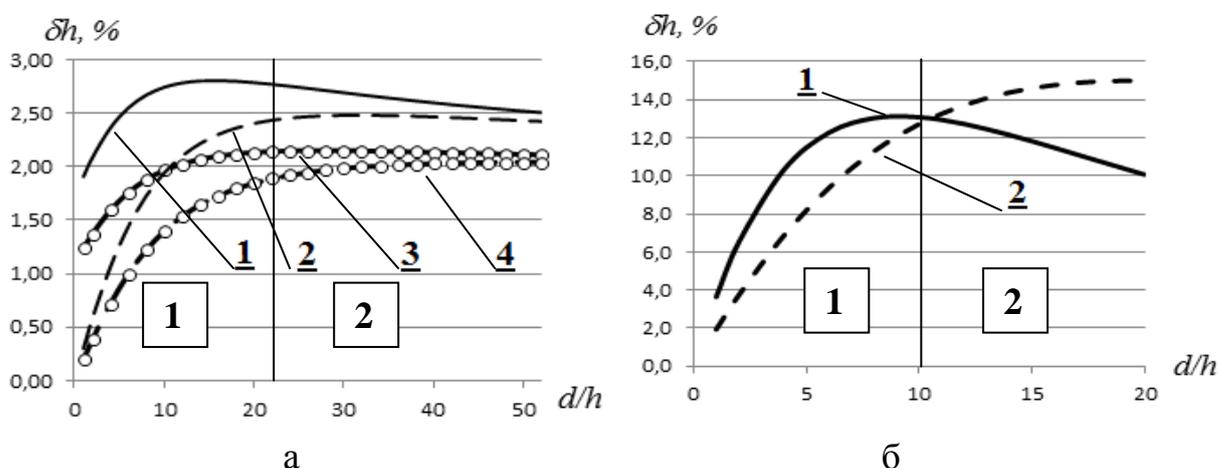


Рис.4. Теоретические зависимости относительной погрешности высоты поковок  $\delta h$  от жесткости поковки: а – для винтового(1-  $\delta h_v$ ), (3-  $\delta h_\sigma$ ); кривошипного пресса (2-  $\delta h_v$ ), (4-  $\delta h_\sigma$ ); б – для винтового(1-  $\delta h_E$ ), кривошипного пресса(2-  $\delta h_H$ )

Из анализа графиков рис.4 видно, что при изменении отношения  $d/h$  от 2 до 20(область 1) винтовые прессы уступают кривошипным по точности штампуемых поковок. Однако при увеличении отношения  $d/h$  от 20 до 50 их точность становится сопоставимой (область 2).

В случае влияния погрешности наладки, при увеличении отношения  $d/h$  от 2 до 20 (область 1) для кривошипного пресса погрешность высотных размеров постоянно возрастает, для винтового пресса при отношении  $d/h$  от 2 до 10 (область 2) происходит увеличение погрешности, а при  $d/h > 15$  наблюдается спад.

Анализ результатов экспериментов показал, что при осадке нежестких поковок ( $d/h=2$ ) наименьшую погрешность обеспечивает кривошипный пресс, он практически не реагирует на изменение объема исходной заготовки. Однако с увеличением жесткости поковок различие между винтовым и кривошипным прессами по критерию качественного показателя высотных размеров осаживаемых поковок уменьшается. В частности, для поковки с относительными размерами  $d/h=2$  относительные погрешности высоты для винтового и кривошипного прессов отличаются в 8,5 раз, в то время как для поковки  $d/h=8$  - лишь в 4 раза. Это подтверждает выводы, полученные при теоретических исследованиях.

Приведены результаты применения основных положений работы в условиях действующего производства на Калужском заводе «КЗАЭ-Инструмент» при изготовлении заготовок для детали «Корпус подшипника электродвигателя» рис.5. При использовании предложенной методики расчета погрешностей высотных размеров поковок были определены доминирующие факторы, влияющие на указанную погрешность. Предложены мероприятия по повышению точности высотных размеров поковок, которые заключались в рекомендации перевода штамповки с кривошипного пресса на винтовой пресс. При этом погрешность высотных размеров поковок снизилась на 17...25 % и трудоемкость процесса, снизилась на 30 % .

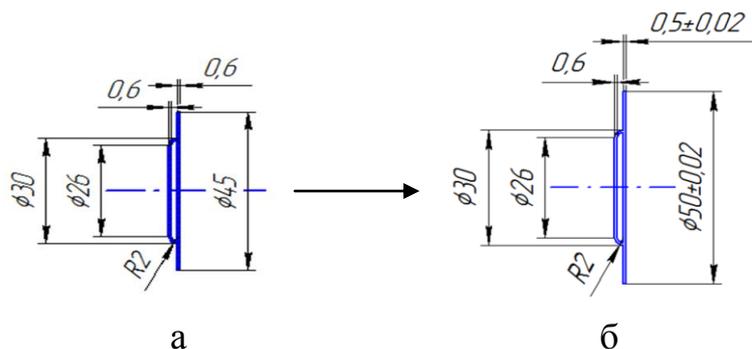


Рис. 5. Заготовка корпуса подшипника электродвигателя:  
а – до осадки; б – после осадки

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основании применения основных положений теории параметрической чувствительности получены функции чувствительности, характеризующие реакцию выходного параметра технологической системы на первичные погрешности (погрешность объема исходной заготовки, колебания

механических свойств материала заготовки, изменения условий контактного трения в полости штампа), для расчета ожидаемой погрешности при выполнении технологической операции осадки.

2. На основе выполненных многофакторных экспериментов установлено, что при осадке цилиндрических заготовок на кривошипных и винтовых прессах наибольшее влияние на погрешность высотных размеров оказывает объемная погрешность исходных заготовок. Показано, что влияние объемной погрешности на точность высотных размеров составляет 1...7%, колебания механических свойств материала заготовки – 1...5%, изменения условий контактного трения в полости штампа – 0,2...3%.

3. Выявлено, что при осадке цилиндрических поковок с учетом сохранения объема исходной заготовки на точность штамповки на кривошипных и винтовых прессах влияет деформационный параметр - степень деформации исходной заготовки по высоте. При уменьшении степени деформации погрешность высотных размеров поковок, штампуемых на винтовых прессах, снижается на 10...15%.

4. Установлено, что влияние погрешности наладки кривошипных и винтовых прессов на погрешность высотных размеров поковок зависит от жесткости самой поковки. С увеличением жесткости поковок погрешность возрастает для кривошипного пресса при изменении относительных размеров поковок с  $d/h=2$  до  $d/h=10$  в 2 раза, для винтового - в 1,13 раза.

5. Определена рациональная область применения винтовых и кривошипных прессов по критерию «точность высотных размеров цилиндрических поковок». Кривошипные прессы целесообразно применять при штамповке цилиндрических поковок в диапазоне  $d/h=2$  до  $d/h=20$  с учетом погрешности наладки и степени деформации  $\varepsilon = 0,34$ , винтовые прессы наиболее предпочтительны при штамповке поковок с малой степенью деформации  $\varepsilon = 0,1$  и  $d/h$  более 15, где влияние погрешности наладки постоянно.

6. Результаты работы были апробированы на Калужском заводе «КЗАЭ-Инструмент» при совершенствовании технологического процесса изготовления заготовок детали типа «Корпус подшипника электродвигателя». Замена кривошипного пресса на винтовой позволила снизить затраты на изготовление детали на 30 %. Отдельные положения диссертации использованы в учебном процессе на кафедре «Технология машиностроения» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана при чтении лекций по дисциплине «Технологии производства заготовок», для специальности 151.001.65 «Технологии машиностроения».

### **Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

1. Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Влияние типов связей технологических систем для кузнечно-штамповочных машин на точность высотных размеров поковок // Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы в машиностроении: Труды Всероссийской научно-техн. конф. 17-18 декабря 2009 г. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. С. 25.

2. Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Влияние жесткости винтового пресса на точность осаживаемых поковок. // Прогрессивные технологии, оборудование

и инструментальные системы в машиностроении: Труды Всероссийской научно-техн. конф. 7-9 декабря 2010 г. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. С. 4.

3. Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Исследование точности осадки, выполняемой на винтовом прессе, на основе многофакторных экспериментов // Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы в машиностроении: Труды Всероссийской научно-техн. конф. 7-9 декабря 2010г. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. С. 6.

4. **Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Сравнительная оценка влияния факторов на точность высотных размеров поковок, получаемых на винтовых и кривошипных прессах // Известия МГТУ «МАМИ» 2010. №2. С. 111-116.**

5. Матвеев С.В. Особенности штамповки на винтовых прессах // Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы в машиностроении: Труды Всероссийской научно-техн. конф. 30 ноября- 2 декабря 2011 г. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. С. 41.

6. **Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Экспериментальное исследование влияния технологических параметров винтового пресса на точность высотных размеров осаживаемых поковок // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. №7. С.31-34.**

7. Матвеев С.В. Экспериментальное исследование влияния контактного трения на процесс деформирования поковок, изготавливаемых на винтовых прессах // Известия высших учебных заведений. Сер. Транспортное и энергетическое машиностроение 2012. №1. С. 24-26.

8. Матвеев С.В. Экспериментальное исследование точности штамповки на винтовых прессах. // Известия высших учебных заведений. Сер. Транспортное и энергетическое машиностроение Спец. Выпуск 2012. С. 60-63.

9. **Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Влияние погрешности наладки винтового пресса на точность высотных размеров поковки при осадке // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. №7. С. 22-25.**

10. **Вяткин А.Г., Матвеев С.В. Точность осадки при штамповке на винтовом прессе // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. №7. С. 22-25.**

Подписано в печать \_\_. \_\_. 2014.

Формат бумаги 60×84  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,1. Уч.- изд. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ

Тульский государственный университет

300600, г. Тула, просп. Ленина, 92

Опечатано в Издательстве ТулГУ.

300012, г. Тула, пр. Ленина, 95