

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦЕЛЬНОШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО СХЕМЕ ОТБОРТОВКА-ФОРМОВКА

© 2006 Е. Г. Демьяненко, И.П. Попов, А. Г. Шляпугин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассмотрены способы получения деталей типа тонкостенных конических оболочек авиационных двигателей. Приведены методика эксперимента и обработки экспериментальных значений, а также экспериментальные данные изготовления модели детали.

Развитие конструкторских разработок в области изготовления авиационных двигателей ограничено технологической возможностью изготовления деталей известными способами листовой штамповки. К конструкторским требованиям, ограничивающим технологическую возможность изготовления детали, в основном относятся высокие требования к ее геометрической точности, в том числе и к диапазону изменения толщины.

В статье рассмотрена возможность получения детали камеры сгорания конической формы (рис. 1). В основном для получения деталей подобных форм в листовой штамповке применяется раздача на растяжных пуансонах (рис. 2) и штамповка в инструментальных штампах (рис. 3). Возможно также использование оснастки с эластичной средой, штамповка жидкостью или газом, штамповка взрывом [1, 2].

При раздаче на растяжных пуансонах используют штамп, который состоит из конусной оправки 1, сегментов растяжных пуансонов 2, штока 3, выталкивателей 4.

В исходном состоянии шток приподнят, и заготовка свободно устанавливается на сегментах. Во время рабочего хода штока вниз происходит скольжение сегментов вниз по конической поверхности оправки и в результате увеличение исходного диаметра заготовки. Поскольку между сегментами в ходе процесса обязательно появляется зазор, то деталь после выполнения операции получается с огранкой. Уменьшить огранку можно за счет многократного поворота заготовки. Для этого необходимо периодически останавливать процесс, разгружать пуансон, снимать заготовку с сегментов с помощью выталкивателя и поворачивать на угол, равный $1/2$ от угла между боковыми поверхностями сегмента.



Рис. 1. Деталь камеры сгорания

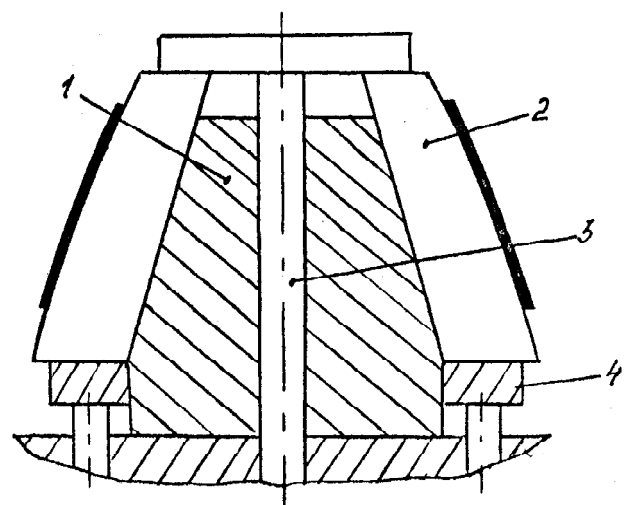


Рис. 2. Раздача на растяжных пуансонах

Вследствие многократного поворота заготовки в ходе процесса технологичность изготовления детали значительно уменьшается, при этом избежать огранки так и не удается [3].

Отбортовку в инструментальных штампах осуществляют по двум схемам. На рис. 3 представлен способ, как правило, реализуемый для деталей, которые легко отбортовываются [4]. Для осуществления процесса по данной схеме необходимо предварительно произвести отбортовку верхней кромки заготовки, которая в дальнейшем используется для фиксации заготовки с помощью прижима инструментального штампа. Недостатком данной схемы является необходимость проведения предварительной отбортовки, а также более высокий расход материала, так как после изготовления детали верхнюю кромку обычно срезают.

На рис. 4 приведена схема, применяемая для толстостенных заготовок. Наиболее серьезным недостатком данной схемы является значительное пружинение при разгрузке детали и, следовательно, низкая точность ее размеров.

При реализации способов, описанных выше, избежать дополнительного припуска на механическую обработку не удастся, что приводит к удорожанию изделия. Например, деталь, полученная способом, представленным на рис. 4, имеет толщину после механи-

ческой обработки $3,5^{±0,2} \times 10^{-3}$ м, а штампуют ее из листа толщиной $10^{0,2} \times 10^{-3}$ м.

Для изготовления ряда деталей небольших размеров возможно использование эластичной среды (рис. 5). Существенным недостатком и в ряде случаев ограничением для реализации данного способа является необходимость создания большого усилия, значительная часть которого тратится на сжатие эластичной среды [2].

Для повышения точности штампуемых деталей, полученных перечисленными способами, часто приходится проводить термофиксацию. Операция термофиксации заключается в том, что заготовку после процесса формоизменения (заготовка плотно обхватывает пуансон) помещают вместе с пуансоном в печь и длительно выдерживают до частичного снятия внутренних напряжений. Получаемая деталь имеет высокую точность геометрических размеров (кроме толщины), полностью соответствующую геометрии пуансона, но процесс длительный и требует значительных затрат энергии [5].

Одним из перспективных способов получения деталей камер сгорания является способ отбортовка-формовка, реализуемый с помощью специальной оснастки на гидравлических прессах (рис. 6). С его помощью появляется возможность уменьшить толщину исходной заготовки на 45-50 % за счет

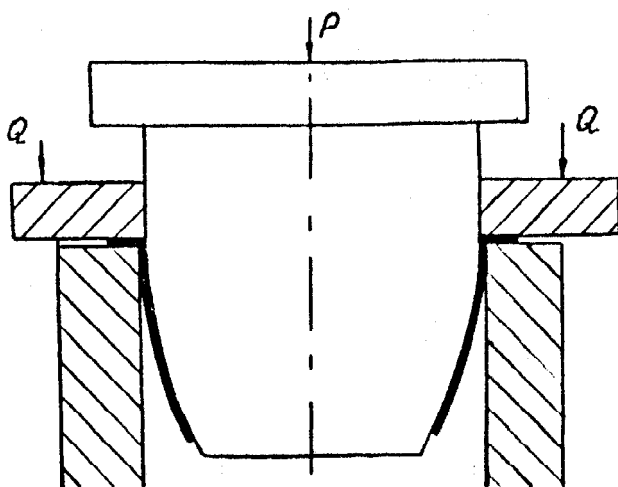


Рис. 3. Штамповка в инструментальном штампе тонкостенных заготовок

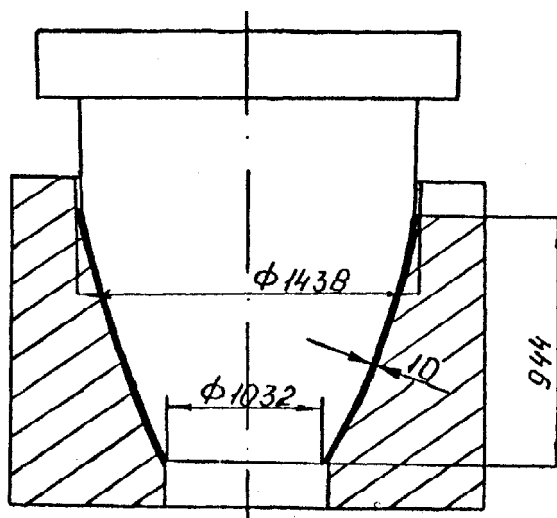


Рис. 4. Штамповка в инструментальном штампе

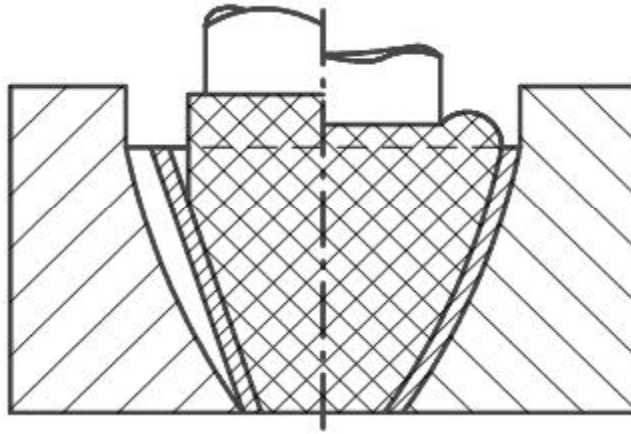


Рис. 5. Штамповка с применением эластичной среды

уменьшения припуска на механическую обработку.

Суть способа сводится к тому, что после реализации схемы, представленной на рис. 3, без снятия заготовки с пуансона дополнительно производится избыточное деформирование заготовки на величину 5-10 % (в зависимости от обрабатываемого материала), позволяющее за счет деформации растяжения частично снять пружинение. Для реализации данной схемы разработана специальная штамповая оснастка, которая позволяет зафиксировать нижний край заготовки после осуществления процесса отбортовки.

Штамп состоит из подкладной плиты 1, выталкивателя 2, матрицы 3, прижима 4, пуансона 5.

Рассмотрим этапы нового способа на примере конусной заготовки, из которой получают конусную деталь.

Заготовка 6 типа конуса устанавливается в штамп так, чтобы ее наружная поверхность, прилегающая к открытому большому торцу, легла на рабочую поверхность матрицы 3. При опускании прижима 4 заготовка зажимается между поверхностями прижима 4 и матрицы 3. При опускании пуансона 5 осуществляется отбортовка свободной части

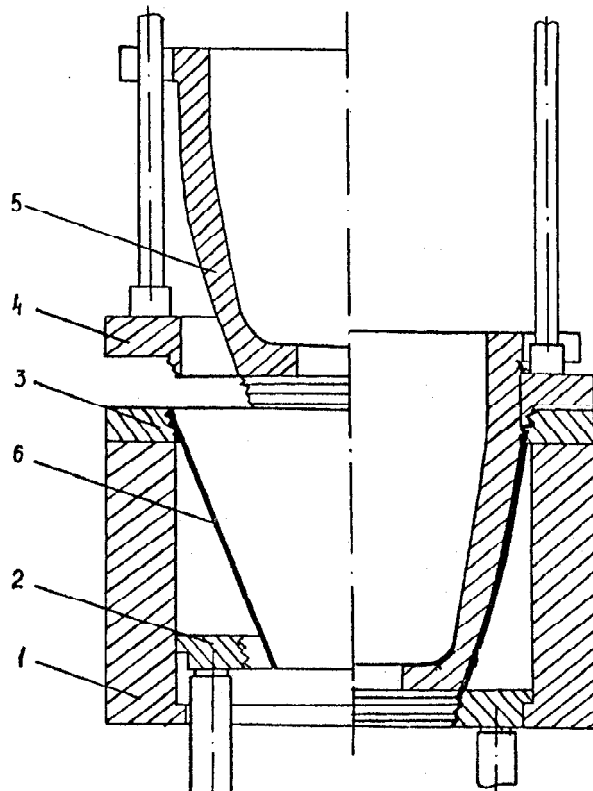


Рис. 6. Схема штампа для реализации нового способа

заготовки до тех пор, пока не произойдет зажим заготовки со стороны малого торца. После этого одновременно с отбортовкой происходит растяжение заготовки вдоль образующей. При этом усилие растяжения приложено только со стороны большого торца, так как малый торец заготовки в начальной стадии деформирования свободен от зажима. Зажим по малому торцу заготовки происходит в момент, когда ход формующего инструмента станет равным высоте исходной заготовки, считая от плоскости ее большого торца. С этого момента усилие растяжения вдоль образующей прикладывается по всей заготовке.

При разработке данного способа предполагалось, что наличие неравномерных геометрических деформаций вдоль образующей в ходе второго этапа будет частично компенсироваться за счет участия в процессе формоизменения сил трения и что дополнительное растяжение позволит снизить пруженные детали после разгрузки.

Была проведена серия экспериментов, в которых использовались конусные заготовки с размерами оснований 0,141 м и 0,100 м, высотой 0,096 м. Исходным материалом являлась нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т толщиной $0,5^{0,02} \times 10^3$ м.

Размеры штамповой оснастки и материала заготовки выбирались из условий физического и геометрического подобий. Под геометрическим подобием понимается соответствие размеров экспериментальной оснастки и заготовки реальной заготовке и оснастке с учетом масштабного коэффициента. Под физическим подобием понимается одинаковое значение механических показателей материала модели и натуре.

Для определения геометрического соответствия штампованной детали и пуансона необходимо сравнить диаметры участков, которые находились в контакте до снятия детали с пуансона. Трудность заключается в том, что точно зафиксировать и затем провести замер данных участков с заданным уровнем точности достаточно сложно.

В подобных случаях прибегают к способу, который заключается в том, что наружную поверхность пуансона и внутреннюю

поверхность детали представляют в виде зависимости высоты от диаметра. При проведении эксперимента была использована зависимость второй степени:

$$D_n = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2^2, \quad (1)$$

$$D_n = \epsilon_0 + \epsilon_1 x_1 + \epsilon_2 x_2^2, \quad (2)$$

где D_n – диаметр пуансона как функция от высоты сечения x .

Для расчета коэффициентов необходимо воспользоваться формулами

$$a_i = \frac{\sum_{i=1}^n D_j j_i(x_i)}{\sum_{i=1}^n j_i^2(x_i)}, \quad \epsilon_i = \frac{\sum_{i=1}^n D_i f_i(x_i)}{\sum_{i=1}^n f_i^2(x_i)}, \quad (3)$$

где D_i – замеренное значение диаметра заготовки или пуансона; j_i, f_i – высота сечения, на котором производился замер диаметра пуансона или заготовки.

На рис. 7 показан график зависимости диаметра пуансона, используемого при эксперименте, от высоты, на которой располагается данный диаметр.

Для наиболее объективной оценки результатов эксперимента была разработана схема (рис. 8, 9), в соответствии с которой производились замеры значений толщин и диаметров по различным сечениям детали и пуансона, расположенным на определенной высоте x от нулевого (базового) сечения.

Выбор базового по высоте сечения с диаметром D_0 производился из условия совпадения диаметра заготовки и пуансона: $D_n = D = D_0$. Далее по (1) производился расчет высот сечений заготовки и пуансона, в которых и располагаются диаметры D_n и D . Для пуансона и детали эти значения разные, так как начало координат находится в разноименных точках пуансона и детали. Определив значения высот для одинаковых диаметров, можно найти координаты сечения пуансона и детали, которые на заключительной стадии формообразования находились в контакте (рис. 10).

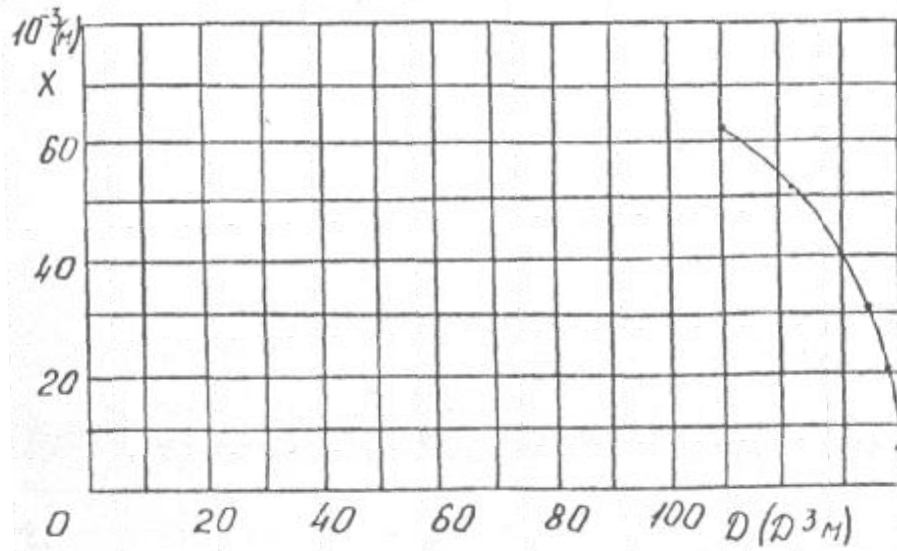


Рис. 7. Изменение диаметра пуансона в зависимости от высоты его сечения

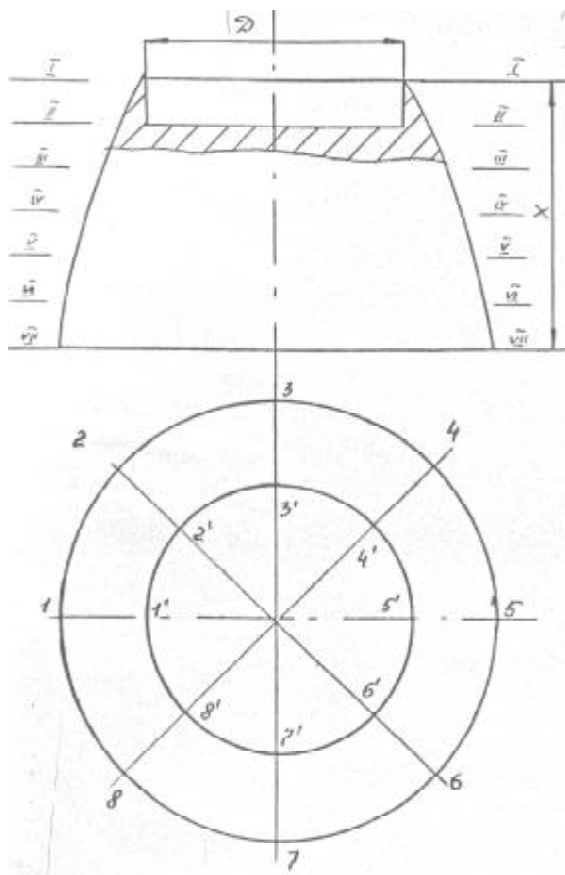


Рис. 8. Схема снятия размеров с пуансона

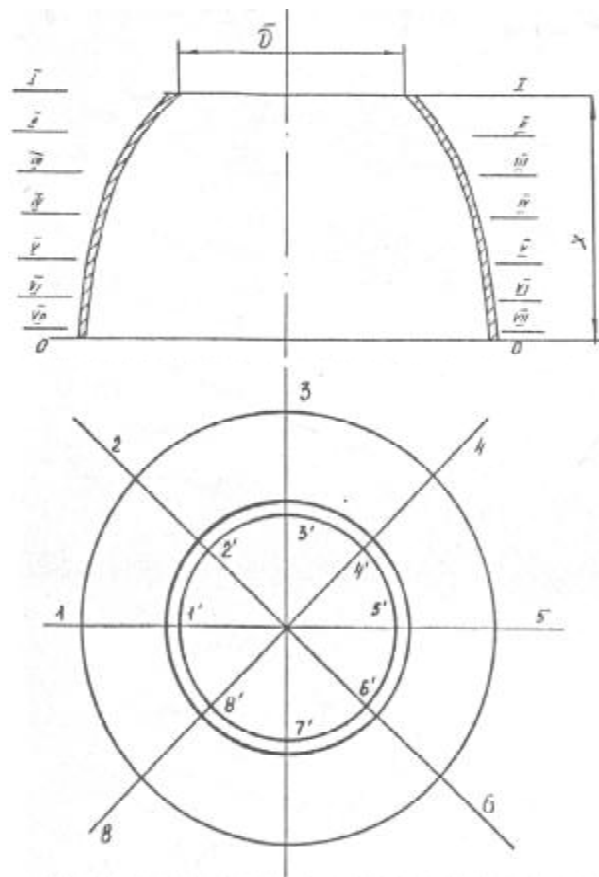


Рис. 9. Схема снятия размеров с детали

Наиболее интересным с точки зрения исследования параметром является толщина стенки детали и ее изменение в зависимости от сечения детали. Интерес к изменению толщины детали обуславливается в первую очередь тем, что равная толщина детали позволяет избежать дополнительной механической

обработки и выполнить условие равнопрочности по всему контуру детали. Значения толщин, полученных в результате эксперимента, представлены в таблице 1. Замер осуществлялся с помощью индикатора с точностью до 0,01. Для сравнения приведены значения толщин, полученных при изготовлении по-

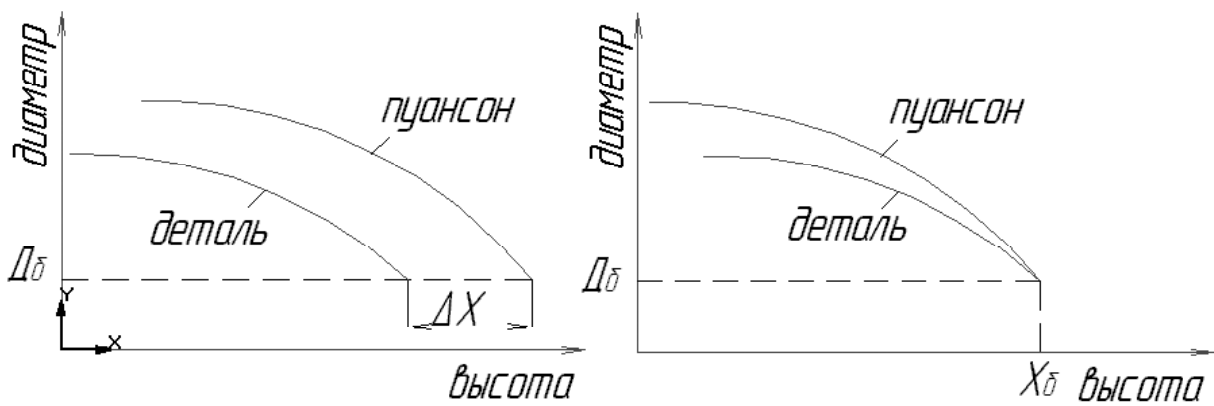


Рис. 10. Схема приведения высот и диаметров детали и пуансона

добной детали способом, представленным на рис. 4 (таблица 2).

Как видно из таблиц 1 и 2, интервал изменения толщины при реализации нового способа составил 0,015 мм (от 0,435 до 0,45 мм). При получении детали способом отбортовки в инструментальном штампе интервал изменения толщины составил 0,04 мм (от 0,48 до 0,44 мм), что в 2,7 раза больше, чем при реализации нового способа. Соответственно, появляется возможность уменьшить припуск на механическую обработку примерно в 2,5 раза.

Характер экспериментальной зависимости толщины детали от высоты сечения по-

казан для штамповки в инструментальном штампе (по схеме отбортовки) и для нового способа на рис. 11.

Из рис. 11 видно, что толщина детали вдоль образующей при штамповке в инструментальном штампе изменяется по зависимости, имеющей одно экстремальное значение между 2 и 3 сечениями по высоте. Значения толщины, полученные в результате постановки эксперимента по новому способу, находятся вблизи среднего по толщине значения. Вид зависимости, описывающий эти экспериментальные данные, более сложный, так как содержит информацию о двух стадиях деформирования.

Таблица 1. Значения толщин полученные из эксперимента при реализации способа отбортовки-формовки

Сечение	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
1-1	0,45	0,44	0,445	0,45	0,445	0,445
3-3	0,445	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44
5-5	0,45	0,435	0,44	0,445	0,445	0,44
6-6	0,45	0,44	0,44	0,45	0,445	0,44
Среднее значение по сечению	0,449	0,439	0,441	0,449	0,444	0,441

Таблица 2. Значения толщин, полученные из эксперимента при реализации способа отбортовки в инструментальных штампах

Сечение	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
1-1	0,445	0,44	0,44	0,45	0,46	0,47
3-3	0,45	0,44	0,44	0,45	0,46	0,48
5-5	0,445	0,44	0,435	0,45	0,46	0,47
6-6	0,45	0,44	0,44	0,45	0,46	0,47
Среднее значение по сечению	0,448	0,44	0,439	0,45	0,46	0,473

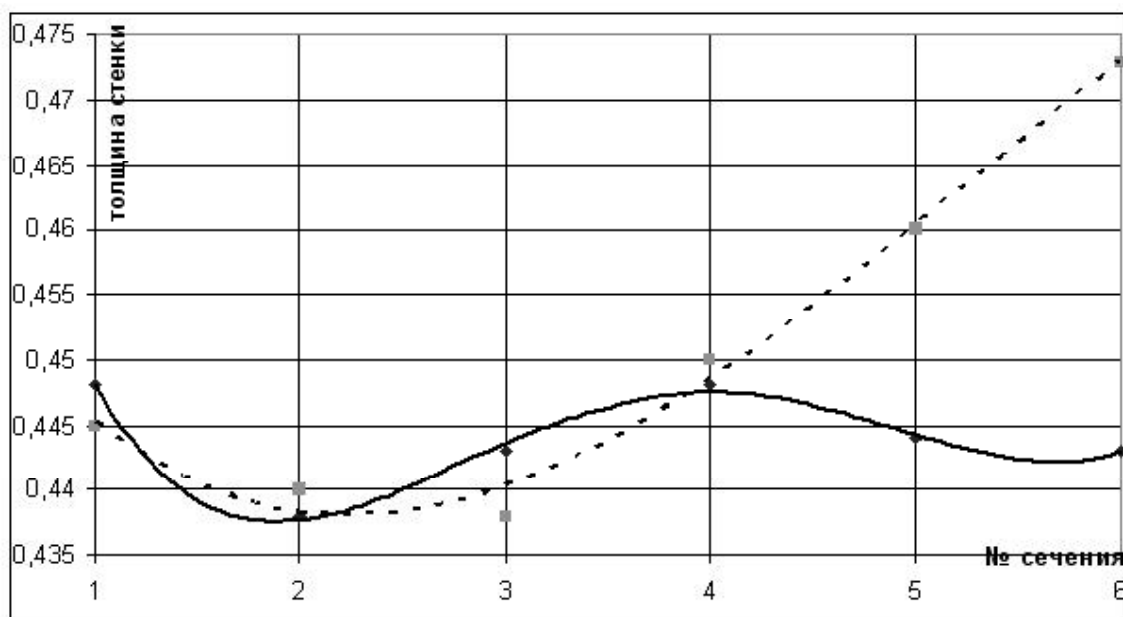


Рис. 11. Зависимость толщины от высоты сечения детали, полученной штамповкой в инструментальных штампах способом отбортовки (- - -) и новым способом (отбортовки - формовки —)

Первая стадия – процесс отбортовки (участок 1-3 идентичен участку штамповки в инструментальном штампе). Толщина на участке 4-6 сформирована на второй стадии деформирования в процессе формовки.

Другим фактором, определяющим толщину заготовки, является пружинение. Поскольку разверткой заготовки является трапеция, то после разгрузки деталь изменяет свои размеры на равных по высоте участках неодинаково. Поэтому возникает дополнительное искажение детали (рис. 12). Для того, чтобы повысить геометрическую точность размеров детали, приходится давать дополнительный припуск на механическую обра-

ботку (рис. 12 б, пунктиром показана деталь).

Для построения зависимости диаметров пуансона и заготовки от высоты рассматриваемого сечения по имеющимся экспериментальным данным использовался симплекс-метод. В результате вычислений получены уравнения (рис. 13) со степенью достоверности аппроксимации экспериментальных данных (R^2). В качестве аппроксимирующей кривой была задана парабола второго порядка.

В качестве базового сечения по высоте было принято сечение, соответствующее одному из оснований детали с диаметром, равным 104 мм.

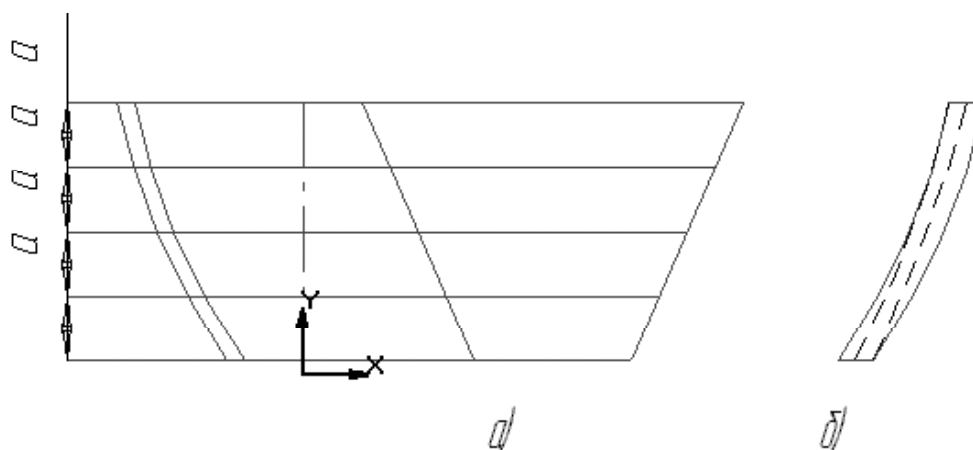


Рис. 12. Пружинение детали и припуск на механическую обработку

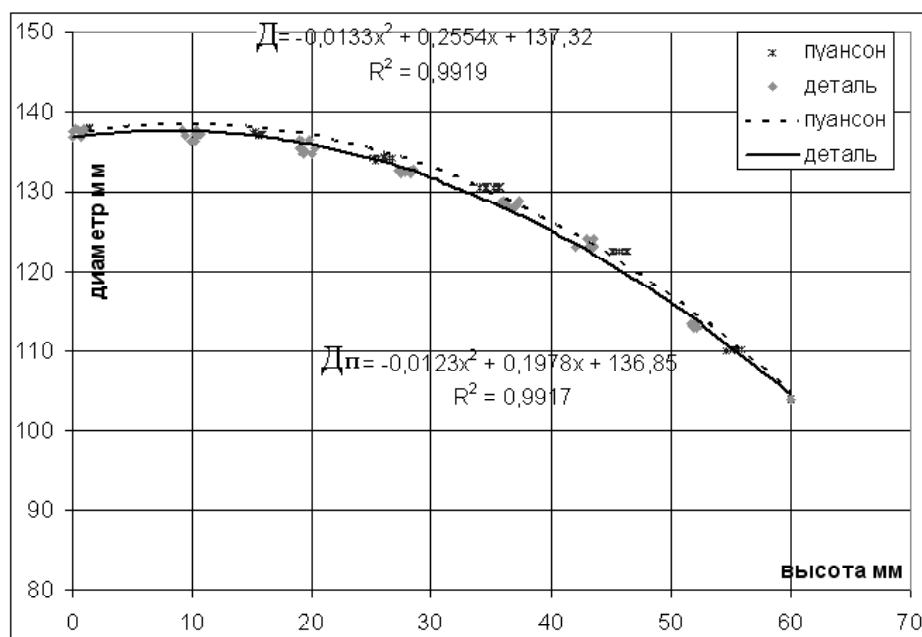


Рис. 13. Экспериментальные зависимости диаметральных размеров от высоты сечения для пуансона и заготовки

Анализ уравнений, описывающих размеры внутренней поверхности детали и рабочей поверхности пуансона, показал, что разница в диаметрах составляет $0,2 \times 10^{-3}$ мм. В ходе экспериментов было установлено, что припуск на механическую обработку, назначаемый из-за пружинения детали, может быть уменьшен в 2 раза.

Сопоставляя экспериментальные данные по изменению толщины и диаметров полученной новым способом детали, можно сделать заключение: заготовка, применяемая для получения деталей камер сгорания новым способом, имеет припуск на механическую обработку на 50 % меньше по сравнению с заготовкой, предназначенной для отбортовки в инструментальном штампе.

Список литературы

1. Разумихин М. И. Новые способы холодной штамповки. - Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1969.
2. Исаченков Е. И., Исаченкова В. Е. Штамповка эластичной и жидкостной средой. - М.: Машиностроение, 1976.
3. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. - Издательство Ростовского университета, 1984.
4. Попов Е. А., Ковалев В. Г., Шубин И. Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. - М.: МГТУ имени Баумана, 2000.
5. Норицин И. А., Газизов Б. Я. Исследование режимов термофрикционной формовки. Кузнечно-штамповочное производство. - Москва, 1976 г. №9. – С. 13.