

**Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С. П. Королева**

---

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЙ  
ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ**

---

**САМАРА 1997**

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЙ  
ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ

*Методические указания к лабораторной работе*

САМАРА 1997

Автор-составитель П.Я. Пытьев

УДК 621.983:547.914.6

**Исследование силовых параметров процесса пробивки отверстий эластичной средой: Метод. указания к лабораторной работе / П. Я. Пытьев.** Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1997, 24 с.

Дана методика исследования процесса пробивки отверстий эластичной средой, указан порядок выполнения силовых расчетов, проведения экспериментального исследования и обработки опытных данных.

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой курса "Технология заготовительно-штамповочных работ" и рассчитаны на студентов специальностей 1301, 1302, 1307 и 07.20.00. Подготовлены на кафедре ПЛА.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева

Рецензент Е. П. Загоскин

## *1. Введение*

Процессы пробивки отверстий эластичной средой нашли широкое применение в производстве летательных аппаратов. Они используются для получения различных по форме и размерам отверстий как в плоских деталях и заготовках, так и в полых деталях после гибки, рельефной штамповки и вытяжки.

Номенклатура деталей, отверстия в которых могут быть получены с использованием этих процессов, — большая; сюда относятся различные косынки, наладки, перегородки, стенки нервюр и др. детали из сплавов алюминия, магния, титана, из нержавеющей стали и других металлов и сплавов. Отверстия в этих деталях могут быть самой разнообразной конфигурации — круглой, квадратной, прямоугольной, треугольной, а также произвольной формы с образованием контура различным сочетанием кривых и прямых линий.

Пробивка отверстий эластичной средой легко выполняется одновременно с другими операциями, такими как вырубка по контуру, гибка, отбортовка, а также при штамповке элементов жесткости в виде рифетов и глухих рельефных углублений в стенках деталей.

Эластичная среда при выполнении разделительных операций применяется для передачи усилия на заготовку детали в зону режущих кромок жесткого штампующего инструмента. Для этой цели могут быть использованы различные высокоэластичные материалы, такие как резина, полиуретан и другие аналогичные полимеры. В качестве силового оборудования применяют гидравлические, кривошипные и эксцентриковые прессы различной мощности.

Пробивка отверстий эластичными средами может выполняться как с применением простейшей технологической оснастки, состоящей из элементарной жесткой матрицы и универсального эластичного цуансона, так и оснастки более сложной конструкции с

дополнительными вспомогательными устройствами, механизмирующими и автоматизирующими процесс штамповки [1]. В первом случае оснастка имеет малую трудоемкость изготовления и быстро окупается. Однако сам процесс штамповки имеет значительно большую трудоемкость, чем штамповка обычными цельнометаллическими инструментальными штампами. При такой оснастке штамповка эластичными средами наиболее эффективна в мелкосерийном и единичном производстве, особенно при частых изменениях конструкции деталей.

Во втором случае характерна более высокая трудоемкость изготовления оснастки, но сам процесс штамповки имеет малую трудоемкость, примерно такую же как и при штамповке цельнометаллическими штампами. Процессы штамповки эластичными средами при этом могут с успехом применяться в крупносерийном и даже массовом производстве.

Настоящая лабораторная работа посвящена исследованию процесса пробивки эластичной средой круглых отверстий с применением жесткой матрицы простейшей конструкции.

## **2. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЙ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ**

При пробивке отверстий эластичная среда выполняет роль пуансона. В качестве матрицы применяется жесткий штампуемый инструмент с острозаточенными режущими кромками, пройма которого имеет форму и размеры пробиваемого отверстия.

Одна из наиболее простых и удобных для практического осуществления схем пробивки отверстия в плоской заготовке, на базе которой выполняется настоящая лабораторная работа, показана на рис. 1. Эластичная подушка 1 заключена в жесткий контейнер 2, который крепится к ползуну или к неподвижной траверзе пресса 6. Жесткий штампуемый инструмент 3 устанавливается на подштамповую плиту 4. Штампуемый материал в виде заготовки 5 располагается сверху жесткого инструмента 3. Для фиксации контура детали в заданном положении относительно пробиваемого отверстия в жесткий инструмент запрессованы два фиксирующих штифта 7, а в заготовке детали просверлены два ответных отверстия, расположение которых строго увязано с контурами детали и отверстия и с расположением фиксирующих штифтов в жесткой матрице. Для осесимметричных деталей и заготовок может быть применен один фиксирующий штифт, установленный по из. оси.

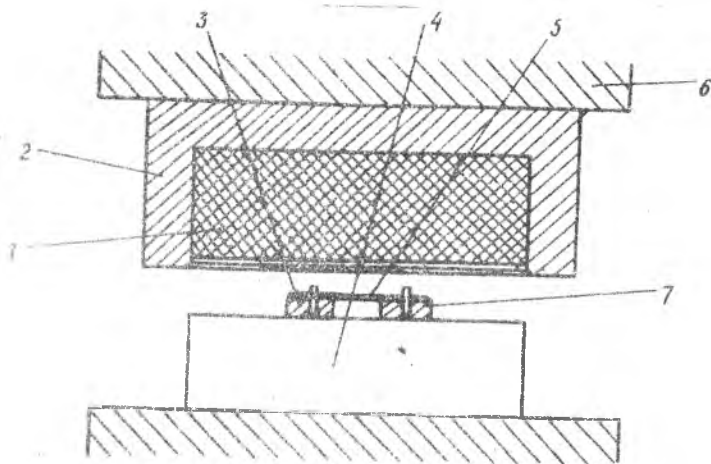


Рис. 1. Схема установки для пробивки отверстия эластичной средой

• Процесс пробивки отверстия эластичной средой условно можно разделить на три стадии (рис. 2). На первой из них (рис. 2, а) эластичная среда 2 после соприкосновения со штампуемым материалом 1 оказывает на него небольшое по величине начальное давление, под действием которого часть заготовки, расположенная над проёмом матрицы, испытывает упругий круговой изгиб. Напряжения и деформации в этой части материала на первой стадии не превышают предела упругости.

На второй стадии, которая возникает при дальнейшем увеличении давления со стороны эластичной среды, материал заготовки над проёмом матрицы переходит в упругопластическое состояние и претерпевает упругопластический пространственный изгиб. В зоне режущей кромки матрицы 3 возникает весьма сложное силовое поле, а у ее вершины — резкая концентрация напряжений и деформаций. В конце второй стадии наиболее напряженные волокна этой зоны разрушаются с образованием вначале микро-, а затем макротрещин, а вся свободная часть заготовки (будущий отход) за счет дальнейшей упругоэластической деформации и возникновения по контуру резки дополнительных деформаций сдвига смещается дальше в проём матрицы (рис. 2, б).

На третьей стадии происходит развитие возникших скалывающих трещин; направление их роста при этом совпадает с линиями наибольших деформаций сдвига. Трещины распространяются на

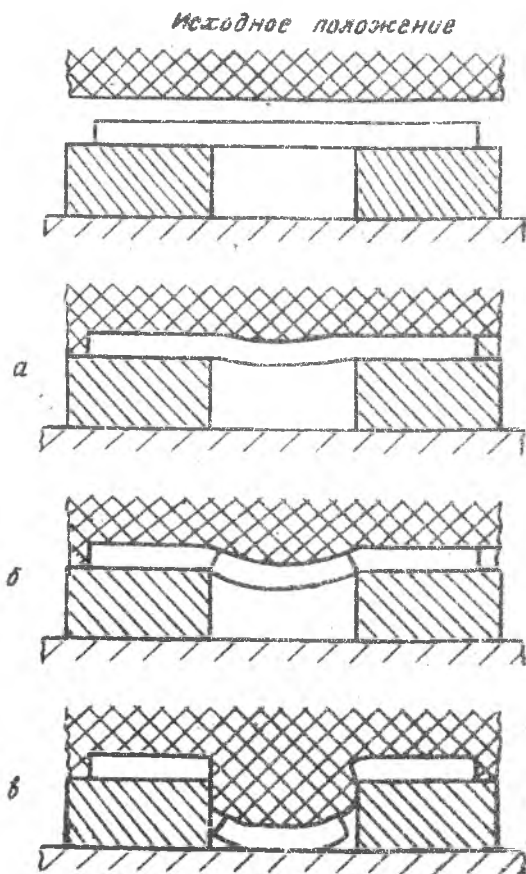


Рис. 2. Стадии процесса пробивки отверстия эластичной средой

внутренние слои материала, проходят через всю его толщину и вызывают полное отделение отхода 5 от детали 6 (рис. 2, в).

В связи с некоторой неравномерностью распределения давления со стороны эластичной среды по поверхности матрицы, неравномерностью механических свойств штампуемого материала и неодинаковой остротой режущей кромки по периметру отверстия, пробивка последнего иногда происходит не по всему контуру одновременно, а только по его части. В результате возникает четвертая стадия

на которой при дальнейшем повышении давления осуществляется окончательное отделение смещенного в сторону отхода (рис. 3).

Значительное влияние на процесс пробивки отверстий эластичной средой и его силовые параметры оказывают физико-механические свойства штампуемого материала и его толщина, геометрия пробиваемого отверстия, степень остроты режущих кромок, физико-механические свойства эластичной среды. С увеличением прочности штампуемого материала и его толщины, твердости

эластичной среды, а также с уменьшением размеров отверстия и притуплением режущих кромок жесткого инструмента давлением, необходимое для пробивки, растет. Вместе с тем уменьшение пластичности штампуемого материала и твердости эластичной среды, притупление режущих кромок жесткого инструмента ухудшают качество кромки среза, увеличивают размер заусенцев по краям отверстия.

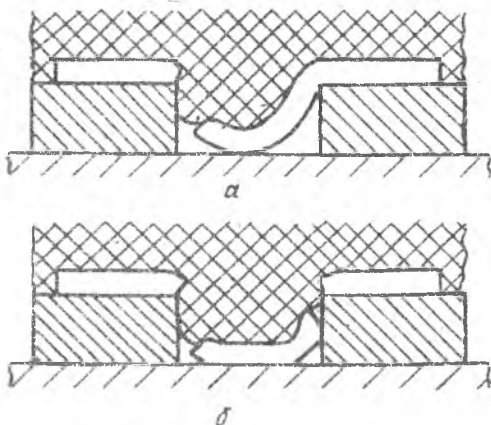


Рис. 3. Возникновение четвертой стадии пробивки отверстия при неодновременном разрушении материала по контуру отверстия: а - третья стадия; б - четвертая стадия

При разработке технологических процессов пробивки отверстий эластичной средой выполняют следующие расчеты: а) определяют давление, необходимое для пробивки со стороны эластичной среды, и усилие пресса при заданных геометрических параметрах контейнера с эластичной средой; б) находят минимально допустимый диаметр отверстия, которое можно пробить на данном прессе; в) определяют степень использования усилия пресса по сравнению со штамповкой инструментальными штампами.

### 3. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

**Целью лабораторной работы является:**

а) практическое ознакомление студентов с процессом пробивки отверстий эластичной средой и закрепление знаний, полученных ими на лекциях;

б) экспериментальное изучение влияния основных факторов на процесс пробивки отверстий, их функциональной связи с силовыми параметрами штамповки;

в) приобретение студентами навыков по расчету силовых параметров процессов пробивки отверстий при разработке технологических процессов разделительной штамповки эластичной средой.

В соответствии с этим лабораторная работа делится на две части: расчетную и экспериментальную. Задачей первой из них



служит определение расчетным путем силовых параметров штамповки заданной детали, задачей второй — экспериментальная проверка расчетных данных.

#### 4. ЗАДАНИЕ

1. Рассчитать силовые параметры процесса пробивки круглых отверстий в плоской детали, показанной на рис. 4.

Исходные данные взять из табл. 1 в соответствии с вариантом задания, выданным преподавателем. При выполнении расчетной

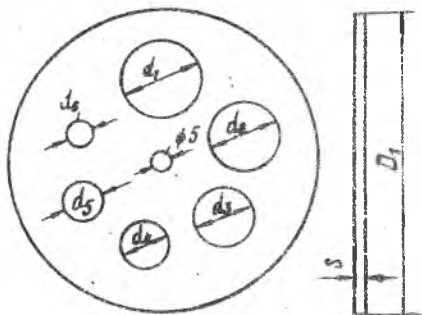


Рис. 4. Эскиз детали

части лабораторной работы необходимо:

а) начертить эскиз детали с отверстиями согласно полученному заданию с указанием их размеров;

б) начертить принятую для технологических расчетов схему пробивки отверстий эластичной средой (рис. 1);

в) рассчитать давление со стороны эластичной среды, не-

обходимое для пробивки каждого отверстия в заданной детали и для пробивки всех отверстий за один рабочий ход пресса;

г) рассчитать величину усилия со стороны ползуна пресса, необходимого для пробивки каждого отверстия в заданной детали и для пробивки всех отверстий за один рабочий ход пресса;

д) рассчитать минимально допустимый диаметр отверстия, которое можно пробить эластичной средой в материале заданной детали на лабораторном прессе с установленным на нем экспериментальным контейнером, сопоставить полученный минимально допустимый размер с размерами отверстий в заданной детали и дать заключение о возможности их пробивки на имеющемся прессе;

е) определить коэффициенты использования усилия пресса при пробивке в заданной детали каждого отверстия в отдельности и всех отверстий за один рабочий ход пресса, для расчета принять только те отверстия, которые возможно пробить на лабораторном прессе с установленным на нем контейнером;

ж) построить теоретический (расчетный) график  $q = f(d)$ , провести на графике линию, соответствующую минимально до-

Таблица 1

Номера заданий	Заготовка				Диаметры отверстий, мм					
	Марка материала	$S$ , мм	$\sigma_{ср}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$D_3$ , мм	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$
1	Д16АМ	0,5	12	140	50	33	22	15	10	5
2	Д16АМ	0,8	12	142	50	35	25	18	13	7
3	Д16АМ	1,0	12	150	50	40	30	23	18	10
4	Д16АМ	1,2	12	150	50	40	30	23	18	10
5	Д16АМ	1,5	12	174	60	50	40	32	26	14
6	АМЦАМ	0,5	7	110	33	22	15	10	7	3
7	АМЦАМ	0,8	7	110	33	22	15	10	7	3
8	АМЦАМ	1,0	7	140	50	33	22	15	10	5
9	АМЦАМ	1,2	7	140	50	33	22	15	10	5
10	АМЦАМ	1,5	7	142	50	35	25	18	13	7
11	АМЦАМ	2,0	7	150	50	40	30	23	18	10
12	С20	0,3	36	142	50	35	25	18	13	7
13	С20	0,5	36	174	60	50	40	32	26	14
14	С20	0,8	36	192	65	54	45	38	32	20
15	С20	1,0	36	192	65	54	45	38	32	20
16	30ХГСА	0,5	45	192	60	50	40	32	26	14
17	30ХГСА	0,8	45	192	65	54	45	38	32	20
18	30ХГСА	1,0	45	192	65	54	45	38	32	20
19	Л62	0,5	26	140	50	33	22	15	10	5
20	Л62	0,8	26	142	50	35	25	18	13	7
21	Л62	1,0	26	150	50	40	30	23	18	10

пустимому размеру отверстия, которое можно пробить на лабораторном прессе, и выделить на графике зону отверстий, пробивка которых возможна и невозможна в материале заданной детали. Из анализа графика сделать выводы о характере влияния различных параметров на величину давления  $q$ , необходимого для пробивки отверстий;

з) построить теоретические (расчетные) графики  $P = f(d)$  и  $\mu = f(d)$ . Из анализа графиков сделать выводы о характере влияния различных параметров на величину усилия прессы  $P$  и коэффициент его использования  $\mu$ ;

и) из анализа расчетной формулы для определения минимально допустимого диаметра пробиваемого отверстия сделать выводы о характере влияния на  $d_{мин}$  параметров, входящих в эту формулу.

2. Провести экспериментальное исследование силовых параметров процесса пробивки отверстий в заданной детали, для чего необходимо:

а) ознакомиться с устройством лабораторного пресса, конструкцией экспериментального контейнера и жесткого штампуемого инструмента для пробивки отверстий в заданной детали (рис. 5 и рис. 6);

б) ознакомиться с правилами техники безопасности при работе на гидропрессах;

в) произвести замер фактической толщины заготовки заданной детали;

г) выполнить предусмотренные программой работ экспериментальные исследования с регистрацией силовых параметров пробивки отверстий в заданной детали;

д) произвести математическую обработку экспериментальных данных с расчетом фактических давлений  $q$  и усилий  $P$ ;

е) построить на теоретических (расчетных) графиках  $q = f(d)$  и  $P = f(d)$  экспериментальные кривые;

ж) по экспериментальным данным для отверстий всех размеров штампуемой заготовки фактической толщины найти действительное значение условного сопротивления материала срезу  $\sigma_{ср}$  и сравнить его с сопротивлением, принятым для технологических расчетов из табл. 1. Определить величину отклонения принятого  $\sigma_{ср}$  от действительного (в %);

з) пересчитать с учетом действительных значений условного сопротивления материала срезу ( $\sigma_{ср}$ ) и толщины штампуемой заготовки  $S$  давление  $q$  и усилие пресса  $P$ , которые необходимы для пробивки отверстий в заданной детали;

и) построить на графиках  $q = f(d)$  и  $P = f(d)$  вторые расчетные (теоретические) кривые с учетом действительных значений  $\sigma_{ср}$  и  $S$ ;

к) сделать соответствующие выводы о степени совпадения экспериментальных и расчетных данных. Если будут обнаружены несовпадения, объяснить их причину.

*Примечание.* В случае, если материал заданной детали отличается от материала, принятого в эксперименте, то задания, предусмотренные пунктами з), и), не выполняются. В этом случае экспериментальные значения  $\sigma_{ср}$  только сравниваются с данными табл. 1 для соответствующей марки материала.

3. Оформить отчет по лабораторной работе.

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы и отчитаться перед преподавателем по результатам выполненной лабораторной работы.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЙ

### 5.1. Определение давления со стороны эластичной среды, необходимого для пробивки отверстий

Расчетные зависимости для определения силовых параметров разделительной штамповки эластичной средой выводятся из условия равенства внешних и внутренних сил, действующих в зоне резки.

В соответствии с рис. 1 внешнее усилие, которое действует в зоне режущей кромки 1 жесткого штампующего инструмента 3 и вызывает ориентированное разрушение материала 5 по контуру отверстия при условии равномерного распределения давления по поверхности жесткого инструмента и подштамповой плиты, определяется по формуле

$$P_{\text{н}} = \frac{\pi d^2}{4} q, \quad (1)$$

где  $P_{\text{н}}$  — равнодействующая внешних сил, равномерно распределенных по периметру резки;

$d$  — диаметр пробиваемого отверстия;

$q$  — давление со стороны эластичной среды на поверхность заготовки.

Штампующий материал к моменту начала разрушения по контуру резки будет сопротивляться внешней нагрузке с усилием

$$P_{\text{вн}} = \pi d S \sigma_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{вн}}$  — суммарное сопротивление материала разрушению по периметру резки;

$S$  — толщина штампуемого материала;

$\sigma_{\text{ср}}$  — условное сопротивление материала резанию.

Чтобы разрушение произошло, должно быть соблюдено равенство  $P_{\text{н}} = P_{\text{вн}}$ .

Приравняв правые части выражений (1) и (2) и решив полученное уравнение относительно давления  $q$ , находим

$$q = \frac{4S\sigma_{\text{ср}}}{d}, \quad (3)$$

Зависимость (3) не учитывает затраты энергии на деформирование эластичной подушки и влияние на давление возможного притупления режущей кромки жесткого дыропробивного инструмента. Поэтому для получения расчетной формулы в зависимость (3) вводится поправочный безразмерный коэффициент, равный 1,2, который предусматривает некоторое увеличение расчетного давления:

$$q_{\text{расч}} = \frac{4,8S\sigma_{\text{ср}}}{d} \quad (4)$$

Подставив в формулу (4) исходные данные из табл. 1, определяют давление эластичной среды, необходимое для пробивки в заданной детали каждого отверстия в отдельности и одновременно всех имеющихся в ней отверстий.

Данные расчетов вносятся в отчетный бланк установленного образца (см. таблицу приложения). Затем по ним в прямоугольной системе координат строится график  $q = f(d)$ . По горизонтальной оси откладываются значения диаметров отверстий для заданной детали, на вертикальной оси — соответствующие им давления эластичной среды, рассчитанные по формуле (4). Полученные точки соединяют плавной кривой.

## 5.2. Расчет усилия, необходимого для пробивки отверстий

Усилие, необходимое для пробивки отверстий, определяют в целях подбора прессового оборудования по мощности. При условии равномерного распределения давления по поверхности жесткого штампуемого инструмента и подштамповой плиты усилие прессы находим по формуле

$$P_{\text{пр}} = F_{\text{к}}q, \quad (5)$$

где  $P_{\text{пр}}$  — усилие со стороны ползуна прессы;

$F_{\text{к}}$  — площадь рабочей поверхности эластичной подушки, запрессованной в контейнер, либо равная ей площадь рабочей поверхности подштамповой плиты.

Подставив в (5) значение  $q$  из (4) и учитывая, что при круглом контейнере площадь подштамповой плиты  $F_{\text{к}} = \frac{\pi d_{\text{к}}^2}{4}$  ( $d_{\text{к}}$  — диаметр подштамповой плиты или эластичной подушки), получим

$$P_{\text{пр}} = \frac{1,2\pi d_{\text{к}}^2 \cdot S_0 \sigma_{\text{ср}}}{d} \quad (6)$$

Подставив в формулу (6) исходные данные из табл. 1, определяют усилие со стороны ползуна пресса, необходимое для пробивки в заданной детали каждого отверстия в отдельности и одновременно всех отверстий (рассчитывается по отверстию минимального диаметра).

Результаты расчетов вносятся в отчет по лабораторной работе (см. таблицу приложения). Далее по ним в прямоугольной системе координат строится график зависимости  $P_{\text{пр}} = f(d)$ .

### 5.3. Расчет минимально допустимого диаметра пробиваемого отверстия

Минимально допустимый диаметр пробиваемого отверстия рассчитывается для материала заданной детали и имеющегося лабораторного пресса. Заменяя в формуле (6)  $P_{\text{пр}}$  его максимальным значением  $P_{\text{макс}}$  для данного пресса и решив уравнение относительно  $d$ , получим расчетную формулу для определения  $d_{\text{мин}}$ :

$$d_{\text{мин}} = \frac{1,2\pi d_{\text{к}}^2 \cdot S_0 \sigma_{\text{ср}}}{P_{\text{макс}}} \quad (7)$$

Подставив в формулу (7) исходные данные из табл. 1,  $d_{\text{к}}$  и  $P_{\text{макс}}$  из паспорта лабораторного гидравлического пресса (рис. 5), определяют значение  $d_{\text{мин}}$  для заданных конкретных условий штамповки.

Полученное значение  $d_{\text{мин}}$  сопоставляют с диаметрами отверстий, которые имеются в заданной детали, и дают заключение о возможности их пробивки на лабораторном прессе. Если  $d_{\text{мин}}$  будет меньше наименьшего диаметра отверстия в заданной детали, то все ее отверстия могут быть получены на лабораторном прессе. В противном случае те отверстия, которые будут меньше  $d_{\text{мин}}$ , на лабораторном прессе пробить будет невозможно.

На графике  $q = f(d)$  проводят вертикальную линию, соответствующую  $d_{\text{мин}}$ , которая разделит поле графика на две части.

Правую часть будет составлять зона отверстий, пробивку которых можно осуществить на лабораторном прессе и в материале заданной детали, левую часть составит зона отверстий, которые пробить нельзя. Правую часть надо заштриховать.

#### *5.4. Определение коэффициента использования усилия прессы*

При разделительной штамповке эластичной средой только часть усилия прессы используется для непосредственного выполнения разделительной операции, другая его часть идет на сжатие эластичной среды, расположенной за пределами деформируемой зоны штампуемой заготовки, и расходуется, по существу, бесполезно.

Отношение той части усилия, которое используется непосредственно для разрушения штампуемого материала по контуру резки (т. е.  $P_{вн}$ ), к полному усилию, которое прикладывается к контейнеру со стороны ползуна прессы (т. е.  $P_{пр}$ ), называют коэффициентом использования усилия прессы и обозначают его  $\mu$ . Таким образом,

$$\mu = \frac{P_{вн}}{P_{пр}} \quad (8)$$

Сопоставив зависимость (8), (2) и (6), получим

$$\mu = \frac{d^2}{1,2d_k^2} \quad (9)$$

Таким образом, коэффициент использования усилия прессы зависит только от соотношения диаметров пробиваемого отверстия и контейнера (эластичной подушки) и не зависит от физико-механических свойств и толщины штампуемого материала.

По формуле (9) рассчитывают коэффициент усилия прессы при пробивке в заданной детали каждого отдельно взятого отверстия. Причем расчет ведут только для тех отверстий, которые могут быть пробиты на данном прессе.

Для определения коэффициента использования усилия прессы при пробивке всех имеющихся в детали отверстий одновременно надо взять отношение суммарного усилия, необходимого для непосредственной пробивки тех отверстий, которые могут быть

получены на лабораторном прессе исходя из его мощности, к полному усилию пресса которое прикладывается к контейнеру при пробивке отверстия наименьшего диаметра. Расчетная формула при этом будет иметь вид

$$\mu = \frac{(d_1 + d_2 + \dots + d_{n-1} + d_n)d_n}{1,2d_k^2} \quad (10)$$

где  $d_1, d_2, \dots, d_n$  — диаметры отверстий (от наибольшего  $d_1$  до минимального  $d_n$ ), имеющихся в заданной детали.

Данные расчетов, выполненных по формуле (9), вносятся в соответствующие графы отчетного бланка (см. таблицу приложения). В дальнейшем по ним строится график  $\mu = f(d)$ .

### *5.5. Анализ расчетных зависимостей и построенных расчетных графиков*

В конце расчетной части лабораторной работы проводится анализ использованных для расчетов зависимостей и построенных по ним графиков.

На основе анализа формулы (3) и построенного по ней графика  $q = f(d)$  выясняется характер влияния параметров  $d$ ,  $S$  и  $\sigma_{\text{ср}}$  на величину давления  $q$ , которое необходимо для пробивки отверстий.

На основе анализа формулы (6) и построенного по ней графика  $P_{\text{пр}} = f(d)$  определяется характер влияния на величину усилия  $P_{\text{пр}}$  параметров  $d$ ,  $d_k$ ,  $S$  и  $\sigma_{\text{ср}}$ .

На основе анализа формулы (7) устанавливается характер влияния на размер минимального допустимого диаметра  $d_{\text{мин}}$  отверстия параметров  $d_k$ ,  $S$ ,  $\sigma_{\text{ср}}$  и  $P_{\text{макс}}$ .

На основе анализа формул (9) и (10) выясняется характер влияния на коэффициент использования усилия пресса диаметров пробиваемых отверстий и диаметра контейнера.

Краткое изложение результатов проведенных анализов записывается в отчете по лабораторной работе.



## 6. ОБОРУДОВАНИЕ

### 6.1. Лабораторный гидравлический пресс

Экспериментальная часть лабораторной работы выполняется на лабораторном гидравлическом прессе БКК-200 М1, схема которого показана на рис. 5. На неподвижной траверсе прессы 12 смонтирован контейнер 1 с эластичной подушкой 13. На столе 3 прессы, смонтированном на открытой части поршня 4 гидравлического цилиндра 16, установлена подштамповая плита 2, на

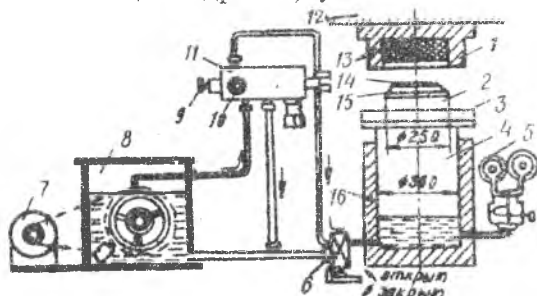


Рис. 5. Схема лабораторного прессы для штамповки эластичной средой

масла, поступающего в нижнюю часть цилиндра 16 из насосного агрегата 8, который приводится в действие электродвигателем 7. Управление прессом осуществляется при помощи регулировочного вентиля 9, вентиля сброса избытка масла 10 и спускового клапана 6. Вентили 9 и 10 смонтированы на гидропанели 11. Давление масла в гидросистеме прессы измеряется манометрами 5.

Паспортные данные прессы: максимальное усилие  $P_{\text{макс}} = 200$  тс; ход поршня 4-250 мм, диаметр поршня 4-360 мм; диаметр подштамповой плиты 2-250 мм; масса прессы 1500 кгс; габариты прессы 1967x1300x860 мм

### 6.2. Технологическая оснастка

В качестве жесткого дыропробивного инструмента при экспериментальном исследовании используется стальная дыропробивная матрица, конструкция которой изображена на рис. 6. Диаметры отверстий в матрице равны диаметрам соответствующих отверстий в детали по заданию согласно табл. 1 и рис. 6. Для

которой располагаются жесткая дыропробивная матрица 15 и уложенная на нее заготовка детали 14.

Перемещение поршня 4 со столом 3 в сторону контейнера 13 и создание рабочего усилия  $P_{\text{пр}}$  осуществляется давлением

выполнения всех 14 заданий имеется всего шесть матриц, размеры которых приведены в табл. 2. Каждая матрица предназначена для пробивки шести отверстий, предусмотренных заданием. Высота инструмента  $h_{ш}$  взята такой, чтобы отход в процессе пробивки отверстия не опирался о подштамповую плиту до момента разрушения материала по контуру резки.

Для фиксирования заготовки детали в плоскости жесткого инструмента относительно пробиваемых отверстий применен фиксирующий штифт 2, запрессованный в тело матрицы 1 (рис. 6).

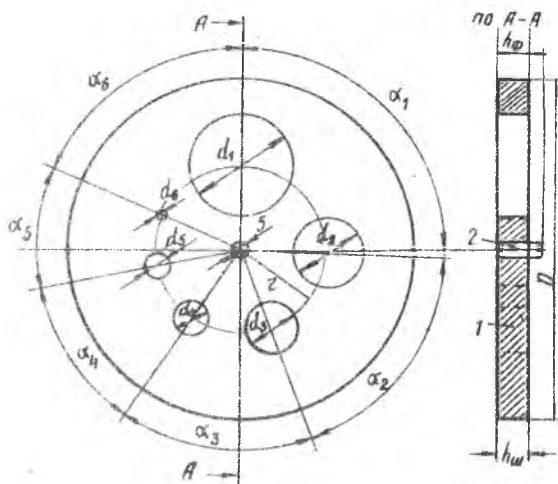


Рис. 6. Экспериментальная матрица для пробивки круглых отверстий

Таблица 2

Геометрические параметры экспериментальных дыропробивных матриц

Номера матриц	Размеры, мм										Углы,					
	$D$	$r$	$h_{ш}$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$
1	110	27	15	33	22	15	10	7	3	20	92	68	55	44	35	66
2	140	34	15	50	33	22	15	10	5	20	100	69	51	40	31	69
3	142	36	15	50	35	25	18	13	7	20	92	66	55	46	35	66
4	150	39	15	50	40	30	23	18	10	20	89	71	56	46	36	62
5	174	47	20	60	50	40	32	26	14	25	86	70	59	49	37	59
6	192	53	20	65	54	45	38	32	20	25	81	68	58	52	41	60

Примечание. Обозначения элементов конструкции матриц, размеры которых приведены в настоящей таблице, даны на рис. 6.

В табл. 3 приведены номера матриц, которые используются для выполнения соответствующих заданий по табл. 1.

Таблица 3

Номера заданий по табл.1	Номера матриц по табл.2	Номера заданий по табл.1	Номера матриц по табл.2
1	2	8	2
2	3	9	2
3	4	10	3
4	4	11	4
5	5	12	3
6	1	13	5
7	1	14	6

## **7. ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **7.1. Подготовительные работы**

Перед выполнением экспериментального исследования студент изучает устройство лабораторного пресса БКК-200 М1, конструкцию экспериментального контейнера и жесткого штампуемого инструмента, которые следует применять для экспериментальной пробивки отверстий в заданной детали.

Затем студент знакомится с правилами техники безопасности при работе на гидравлических прессах. После этого по номеру задания на деталь студент подбирает соответствующую жесткую матрицу (по табл. 1, 2, 3) и необходимую заготовку детали, производит замер фактической толщины заготовки (замер производится при помощи материального устройства с индикатором часового типа или микрометром). Данные замера вносятся в отчетный бланк.

### **7.2. Экспериментальные работы**

Экспериментальные исследования студент выполняет совместно с лаборантом. Матрица с заготовкой укладывается на подштамповую плиту, и пресс приводится в действие. После этого студент внимательно следит за положением стрелки манометра. Момент пробивки отверстия сопровождается характерным щелчком и остановкой на мгновение стрелки манометра. В этот момент надо зафиксировать визуально показание манометра пресса и записать его.

В матрице имеются шесть отверстий различного диаметра, для пробивки каждого из которых требуется определенное давление со стороны эластичной среды. Для отверстий большего диаметра оно будет меньше; по мере уменьшения диаметра отверстия оно будет расти (это следует из формулы (3), по которой подсчитывалось давление при выполнении первой части лабораторной работы). Поэтому по мере увеличения внешней нагрузки щелчки и остановки стрелки манометра будут происходить последовательно друг за другом. Первый щелчок и остановка стрелки будут соответствовать пробивке наибольшего отверстия, т. е.  $d_1$  (по табл. 1), второй —  $d_2$  и т. д. Показания манометра фиксируются при каждом щелчке.

Если последнего (шестого) щелчка не последует даже при максимальной нагрузке со стороны ползуна пресса, то это означает, что усилия пресса недостаточно и пробивка отверстия диаметром  $d_6$  по этой причине не произошла.

Показания манометра пресса по пробитым отверстиям заносят в отчетный бланк.

## **8. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **8.1. Расчет фактического давления со стороны эластичной среды на заготовку и усилия пресса**

Давление со стороны эластичной среды на заготовку определяется для каждого пробитого отверстия по формуле перехода от давления в цилиндре пресса к давлению в контейнере:

$$q_k = q_m \frac{d_{ц}^2}{d_k^2} \quad (11)$$

где  $q_m$  — давление в цилиндре пресса по показанию манометра;

$d_{ц}$  — диаметр внутренней полости цилиндра (поршня) пресса по паспорту,

$d_k$  — диаметр внутренней полости контейнера (подштамповой плиты) по паспорту пресса;

$q_k$  — фактическое давление эластичной среды в контейнере.

Усилие пресса определяется для каждого пробитого отверстия по формуле

$$P_{\text{пр}} = q_m F_{\Pi}, \quad (12)$$

где  $F_{\Pi}$  — площадь поперечного сечения поршня цилиндра прессы.

Результаты расчетов давления и усилия вписываются в соответствующие графы отчетного бланка. Для непробитого отверстия в графу бланка записывается: "Пробивка не произошла".

По данным экспериментальных значений  $P_{\text{пр}}$  и  $q$  на ранее выполненных теоретических (расчетных) графиках  $q = f(d)$  и  $P_{\text{пр}} = f(d)$  строят экспериментальные кривые.

### 8.2. Расчет действительного значения условного сопротивления материала срезу

Действительное значение условного сопротивления материала срезу определяется для каждого отверстия экспериментальной дыропробивной матрицы и для фактической толщины штампуемого материала. Расчет ведется по формуле (3), которая для этого может быть переписана в следующем виде:

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{q \cdot d_i}{4S}, \quad (13)$$

где  $d_i$  — диаметр отверстия (от  $d_1$  до  $d_6$ ), пробиваемого в экспериментальной заготовке;

$S$  — действительная толщина заготовки (определяется замером микрометра);

$q$  — действительное давление со стороны эластичного пуансона, определяемое для отверстий каждого диаметра.

Найденные по формуле (13) действительные значения  $\sigma_{\text{ср}}$  сравниваются между собой и выявляется характер и степень влияния на  $\sigma_{\text{ср}}$  диаметра пробиваемого отверстия. Далее вычисляется среднее значение  $\sigma'_{\text{ср}}$

$$\sigma'_{\text{ср}} = \frac{1}{6} (\sigma_{\text{ср}1} + \sigma_{\text{ср}2} + \sigma_{\text{ср}3} + \sigma_{\text{ср}4} + \sigma_{\text{ср}5} + \sigma_{\text{ср}6}), \quad (14)$$

сравнивается с сопротивлением срезу из табл. 1 и определяется величина отклонения табличного значения  $\sigma_{\text{ср}}$  от действительно в % по формуле

$$K_{от} = \pm \left( 1 - \frac{\sigma_{ср}}{\sigma'_{ср}} \right) 100, \quad (15)$$

где  $K_{от}$  — величина указанного отклонения.

### **8.3. Определение давления $q$ и усилия $P_{пр}$ , необходимых для пробивки отверстий в заданной детали с учетом действительных значений $\sigma_{ср}$ и $S$**

Расчет давления  $q$  со стороны эластичной среды по фактическим значениям  $\sigma_{ср}$  и  $S$  ведется по формуле (3), а усилий  $P_{пр}$  — по формуле (6). В эти формулы для каждого диаметра отверстия подставляются найденные выше действительные значения  $\sigma_{ср}$  и  $S$ . Данные расчетов вписываются в соответствующие графы отчетного бланка. Затем по ним на графиках  $q = f(d)$  и  $P_{пр} = f(d)$  строятся вторые теоретические (расчетные) кривые.

На основе анализа расчетных и действительных кривых графиков  $q = f(d)$  и  $P_{пр} = f(d)$  производится оценка степени совпадения расчетных и экспериментальных данных и дается объяснение причин обнаруженных отклонений.

В заключение студент дает визуальную оценку качества кромки среза по каждому пробитому отверстию, наличия и величины заусенцев, влияния на качество кромки диаметра пробиваемого отверстия. В отчетном бланке приводится эскиз сечения детали по кромке среза.

**Примечание.** Давление  $q$  и усилие  $P_{пр}$  определяются в случае, если марка материала заданной детали совпадает с маркой материала экспериментальной заготовки. В противном случае расчеты, предусмотренные п. 8.3, не производятся.

## **9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В каких деталях и какие по форме отверстия можно пробивать эластичной средой?
2. Какова роль эластичной среды и жесткого штампуемого инструмента при пробивке отверстий?
3. В чем заключается главная особенность процессов разделительной штамповки эластичной средой и в каких видах производства они находят наиболее эффективное применение?

4. На какие стадии можно разделить процесс пробивки отверстий эластичной средой?

5. Какие факторы оказывают влияние на давление эластичной среды и усилие прессы, необходимые для пробивки отверстий? Каков характер этого влияния?

6. Для чего определяют минимально допустимый размер отверстия, пробиваемого эластичной средой? Какие факторы оказывают влияние на его величину? Каков характер этого влияния?

7. Какова разница между давлением эластичной среды, необходимым для пробивки отверстия, имеющего наименьший диаметр в заданной детали, и всех отверстий одновременно?

8. Какова разница между давлением эластичной среды, необходимым для пробивки отверстия, имеющего наибольший диаметр в заданной детали, и всех отверстий одновременно?

9. Что понимают под коэффициентом использования усилия прессы при пробивке отверстий эластичной средой? Какие факторы оказывают влияние на его величину? Каков характер этого влияния?

10. Какой принцип положен в основу вывода расчетных формул для определения силовых параметров пробивки отверстий эластичной средой?

11. Чем можно объяснить некоторую разницу между расчетными значениями силовых параметров процесса пробивки отверстий эластичной средой и экспериментальными данными? Какие факторы и какое влияние оказывают на величину полученной погрешности?

12. Какое влияние на величину давления пробивки отверстия оказывают механические свойства эластичной среды?

13. По какой причине возникают недорезы при пробивке отверстий эластичной средой?

14. Какую роль выполняет эластичная среда при пробивке отверстий?

15. Каков характер зависимости разрушающего давления от диаметра отверстия при его пробивке эластичной средой и цельнометаллическим штампом? В чем причина принципиального различия?

16. Какое влияние на максимальное давление со стороны эластичной среды, необходимое для пробивки отверстия, оказывает диаметр контейнера и подштамповой плиты?

17. Для чего в расчетную формулу для давления пробивки отверстий вводится поправочный коэффициент?

18. Какое влияние на давление пробивки отверстия и качество кромки среза оказывает притупление режущей кромки жесткой матрицы?

## 10. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о выполненной лабораторной работе оформляется на специальном отчетном бланке, выданном преподавателем. В начале приводится эскиз детали с размерами отверстий из табл. 1 с указанием марки и сечения материала по заданному преподавателем варианту. Рядом воспроизводится схема экспериментальной установки для пробивки отверстий эластичной средой (рис. 1). Далее вписываются все выполненные студентом расчеты, результаты которых затем вносятся в левую часть таблицы, из приложения.

По таблице приложения строго в соответствии с методическими указаниями (пп. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 и 5.5) строятся графики зависимостей  $q = f(d)$ ,  $P_{пр} = f(d)$  и  $\mu = f(d)$  и под каждым из них дается краткое изложение результатов анализа указанных зависимостей и графиков.

Далее приводятся результаты экспериментальных исследований и их математической обработки согласно заданиям (пп. 8.1, 8.2 и 8.3), которые затем вписываются в правую часть таблицы приложения и дается анализ полученных данных, а также результатов их сравнения с расчетными (теоретическими) данными, полученными при выполнении первой части лабораторной работы. В заключение отчета дается письменный ответ на заданный преподавателем вопрос по технологии пробивки отверстий эластичными средами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Пытьев П. Я. Технология листовой штамповки эластичными средами / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1993.

2 Пытьев П. Я. О расчете давлений эластичной среды при выполнении разделительных операций / Вопросы технологии и производства летательных аппаратов. Вып. 1 / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1978.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

Форма таблицы для внесения расчетных и экспериментальных данных при выполнении лабораторной работы.

Таблица

Расчетные значения					Экспериментальные значения				
Силовые параметры					Силовые параметры	Показания манометра			
Диаметры отверстий	$q_{расч}$	$P_{пр}$	$P_{вн}$	$\mu$	Диаметры отверстий		$q_x$	$P_{пр}$	$\sigma_{ср}$
$d_1 =$					$d_1 =$				
$d_2 =$					$d_2 =$				
$d_3 =$					$d_3 =$				
$d_4 =$					$d_4 =$				
$d_5 =$					$d_5 =$				
$d_6 =$					$d_6 =$				

*Учебное издание*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЙ  
ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ**

Автор-составитель *Пытьев Петр Яковлевич*

Редактор Т. И. Кузнецова  
Техн. редактор Г. А. Усачева  
Корректор Т. И. Щелокова

Подписано в печать 10. 08. 97. Формат 60x84 1/16.  
Печать офсетная. Бумага газетная.  
Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отт. 1,52.  
Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 200 экз.  
Заказ № ~~127~~. Арт. С-39/97.

Самарский государственный аэрокосмический университет  
им. академика С. П. Королева  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

ИПО Самарского государственного аэрокосмического  
университета им. академика С. П. Королева.  
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.