

УДК 621.73.012

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРЕССА ДЛЯ ШТАМПОВКИ
ЗАГОТОВКИ КЛАПАНА ЭЛЕКТРОВЫСАДКОЙ**

Валькова Светлана Олеговна

Студентка 6 курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.М. Дмитриев,

*Член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор кафедры
«Технологии обработки давлением»*

Аннотация

Рассматривается один из путей повышения производительности и экономичности при изготовлении детали клапана. Обеспечение высокой экономичности предполагается достичь путем использования электровысадочной машины, с последующей доштамповкой заготовки на КГШП, что позволяет не нагревать всю заготовку и соответственно снижает припуски на стержневую часть поковки, и как следствие уменьшение расхода материала на изготовление детали.

Введение

В условиях современных экономических отношений, к кузнечно-штамповочному производству предъявляется ряд требований, таких как: производительность, универсальность, экономичность, надежность.

В работе сопоставлены технологические процессы изготовления клапана, предложен оригинальный технологический процесс штамповки, в результате математического моделирования установлены наилучшие параметры процесса, приведена разработанная конструкция специализированного пресса.

В данной работе рассматривается один из путей повышения производительности и экономичности при изготовлении детали клапана (рис. 1).

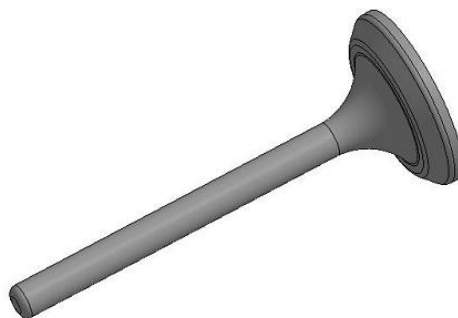


Рис. 1. Деталь клапана,
материал: сталь 40Х

Основные идеи

Обеспечение высокой экономичности предполагается достичь путем использования электровысадочной машины, с последующей доштамповкой детали на КГШП, что позволяет не нагревать всю заготовку и соответственно снижает припуски на стержневую часть поковки, и как следствие уменьшение расхода материала на изготовление детали.

В процессе работы были рассмотрены различные варианты получения поковки типа клапана, приведенные на рис. 2-5:

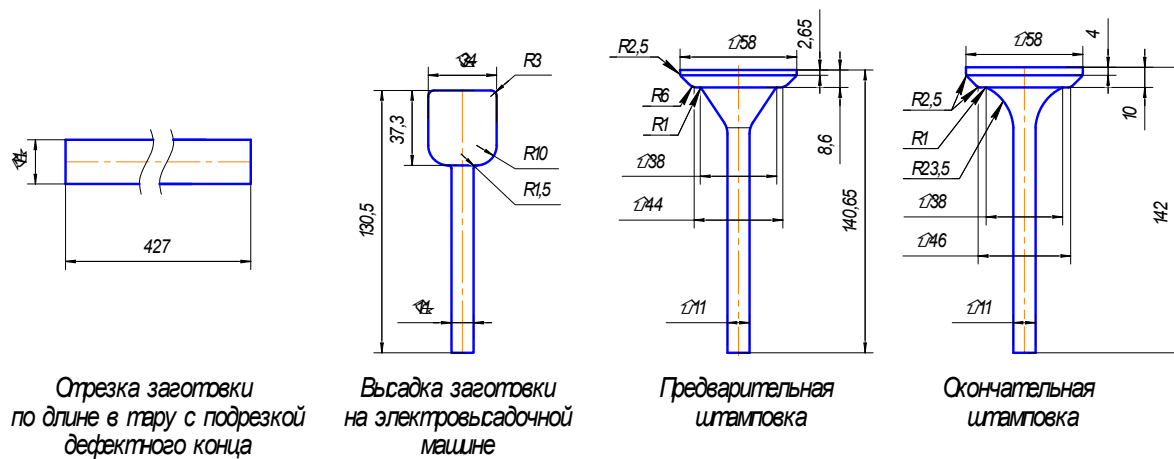
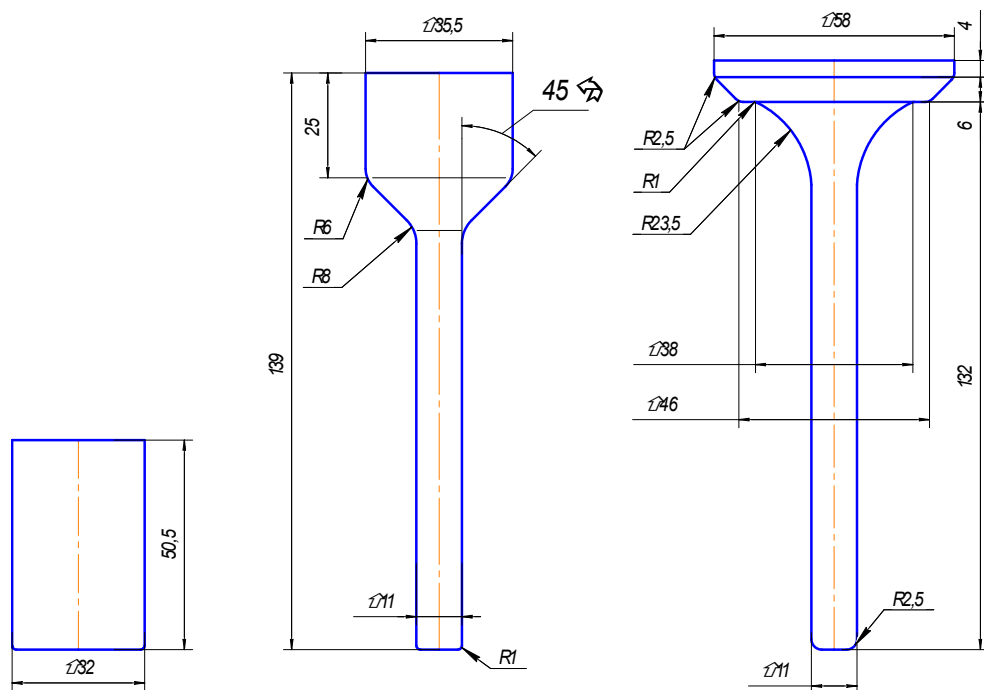


Рис. 2. Электровысадка части – тарелки и последующая ее доштамповка на КГШП

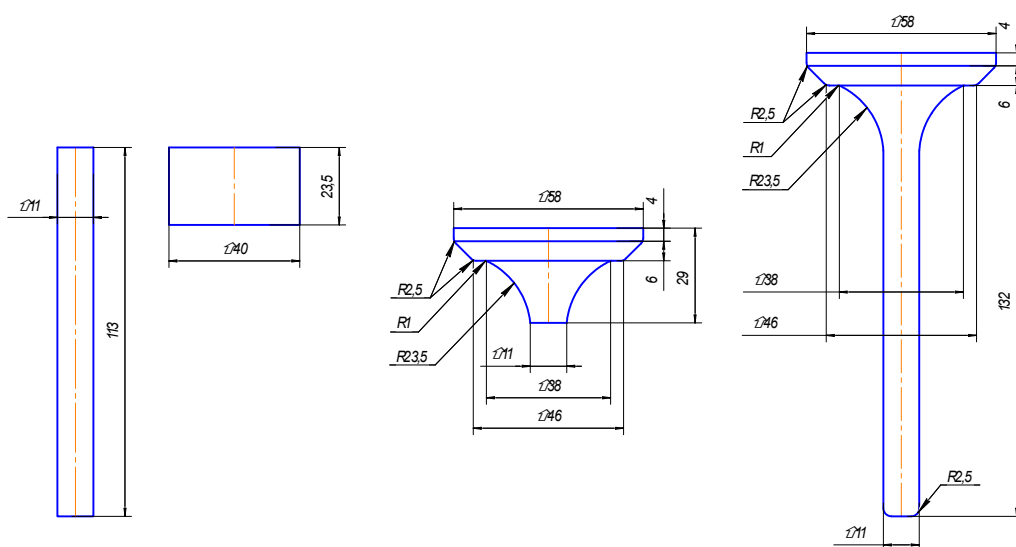


Заготовка

I переход штамповки.

II переход штамповки.

Рис. 3. Штамповка заготовки на КГШП за два перехода из цилиндрической заготовки



Заготовка сталь 4Х9С2, Заготовка сталь 5Х20Н4АГ9

Выдавливание на КГШП тарелки

Контактная сварка тарелки со стержнем

Рис. 4. Получение детали путем сварки из двух частей: 1-тарелка, получаемая выдавливанием на КГШП, 2 – пруток с диаметром стержневой части необходимой поковки

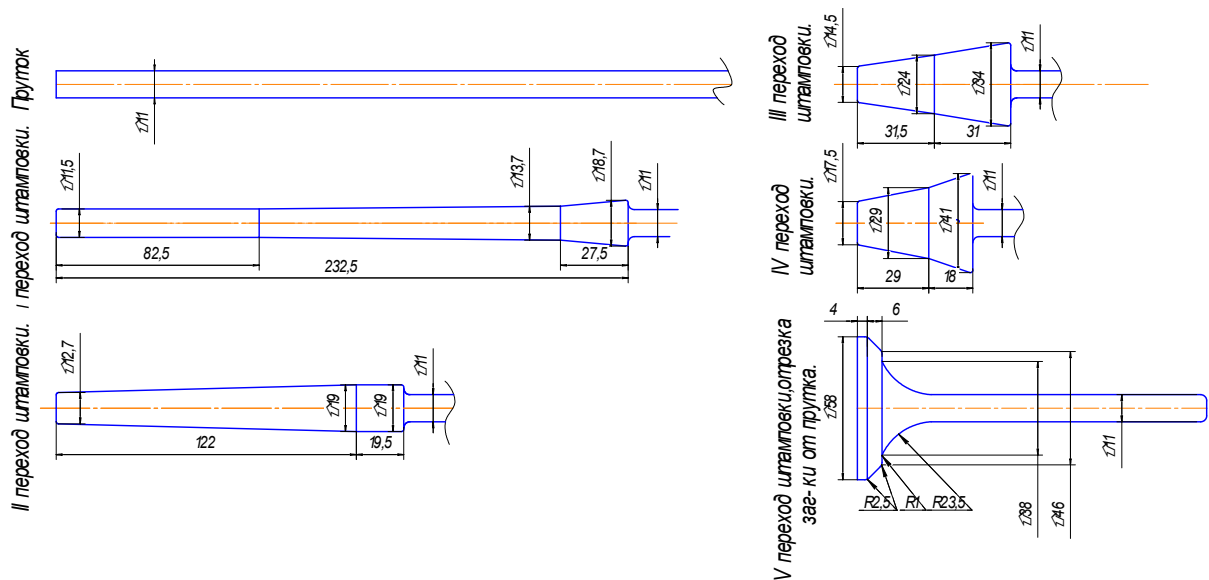


Рис. 5. Штамповка заготовки на ГКМ за пять переходов, с последующей отрезкой заготовки от прутка

В процессе исследования были промоделированы два метода получения поковки клапана: приведенные на рис. 2,3 и установлено, что процесс совмещения электровысадки с доштамповкой на КГШП более технологичен и рационален по сравнению с простым выдавливанием за два перехода: поскольку не требует нагрева всей заготовки. Это улучшает качество поверхности в стержневой части при методе электровысадки.

При проектировании этого процесса задача сводится к выбору наилучшего режима выполнения формоизменяющей операции электровысадкой. Выбирается оптимальный вариант электровысадки стержня длиной 427 мм и $D=11$ мм для последующей доштамповки на КГШП и получения детали типа клапан из стали 40Х в зависимости от различных параметров.

Строится математическая модель, для которой выбираются факторы варьирования (табл. 1):

Таблица 1. Факторы и уровни их варьирования

№	фактор	X_i	F_i
1	расстояние между электродами	30 мм	0
		25 мм	1
2	токи на первичной обмотке трансформатора	50 А	0
		57 А	1
		58 А	2
3	скорость движения верхнего инструмента	10,2 мм/с	0
		10,34 мм/с	1
		10,8 мм/с	2

Математическая модель:

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2$$

При планировании эксперимента используем симметричный план дробного факторного эксперимента главных эффектов, при котором не оценивается взаимное влияние факторов. Таким образом, матрицу симметричного плана $3^4 // 9$ (табл. 2) преобразуем в матрицу несимметричного плана главных эффектов $2 \times 3^2 // 9$ (табл. 3), которая также является ортогональной и симметричной.

Таблица 2. Матрица симметричного плана

№ опыта	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
1	0	0	0	0
2	1	0	2	2
3	2	0	1	1
4	0	1	2	1
5	1	1	1	0
6	2	1	0	2
7	0	2	1	2
8	1	2	0	1
9	2	2	2	0

Таблица 3. Матрица плана $2 \times 3^2 // 9$ эксперимента $3^4 // 9$ в кодах F_i проводимого эксперимента в кодах F_i'

№ опыта	F ₁ '	F ₂ '	F ₃ '	F ₄ '
1	0	0	0	0
2	0	0	2	2
3	1	0	1	1
4	0	0	2	1
5	0	0	1	0
6	1	0	0	2
7	0	1	1	2
8	0	1	0	1
9	1	1	2	0

С использованием полученной матрицы плана $2 \times 3^2 // 9$ в кодах F_i', составлена матрица плана экспериментов $2 \times 3^2 // 9$ в натуральном масштабе (табл. 4).

Таблица 4. Матрица плана экспериментов $2 \times 3^2 // 9$ проводимого эксперимента в натуральном масштабе

№ опыта	X1	X2	X3
1	30	50	10,2
2	30	58	10,8
3	30	57	10,34
4	30	58	10,34
5	30	57	10,2
6	30	50	10,8
7	25	57	10,8
8	25	50	10,34
9	25	58	10,2

После составления матрицы плана в натуральном масштабе все опыты промоделированы в программном комплексе Qform.

Для получения наилучших параметров штамповки электровысадкой, в качестве оценки использованы два выходных параметра:

y_1 - максимальный диаметр полученного утолщения,

y_2 - наилучшая температура по окончании процесса электровысадки.

Матрица плана экспериментов переведена в кодированный масштаб (табл. 5) по переводным формулам:

$$x_i = k_i \cdot (X_i + A_i),$$

где A_i - свободный член;

k_i - переводной коэффициент;

$$A_i = -\frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N},$$

$$x_i = k_i \cdot (x_i^2 + a_i \cdot x_i + c_i):$$

$$c_i = -\frac{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}{N},$$

$$a_i = -\frac{\sum_{j=1}^N x_{ij}}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}.$$

Таблица 5. Матрица плана экспериментов $2 \times 3^2 // 9$ в кодированном масштабе

№ оп.	x_0	x_1	x_2	x_3	z_2	z_3	y_1	$\hat{y}_1$	y_2	$\hat{y}_2$
1	1	1	-5	-1	0,05	0,5	41,26	41,66	993	955,8767
2	1	1	3	1,4	0,34	0,16	30,28	30,78	1686	1607,197
3	1	1	2	-0,4	-0,39	-0,66	34,8	35,36	1345	1406,426
4	1	1	3	-0,4	0,34	-0,66	35,8	35,2	1471	1431,596
5	1	1	2	-1	-0,39	0,5	40,9	40,48	1078	1132,062
6	1	1	-5	1,4	0,05	0,16	32,6	32,14	1366	1405,843
7	1	-2	2	1,4	-0,39	0,16	34	33,95	1238	1276,961
8	1	-2	-5	-0,4	0,05	-0,66	39,5	39,5	947,2	925,1745
9	1	-2	3	-1	0,34	0,5	43,3	43,3	869,1	852,165

Коэффициенты математической модели рассчитаны по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{n=1}^N y_n \cdot x_{in}}{\sum_{n=1}^N x_{in}^2}$$

где i – номер фактора, n – номер опыта, N – число опытов плана.

Получены математические модели:

$$y_1 = 36,937 - 0,997 \cdot x_1 - 0,168 \cdot x_2 - 3,618 \cdot x_3 + 0,083 \cdot x_4 + 2,535 \cdot x_5$$

$$y_2 = 1221,47 + 101,68 \cdot x_1 + 25,169 \cdot x_2 + 166,73 \cdot x_3 + 130,96 \cdot x_4 - 149,88 \cdot x_5$$

По этим моделям получили хорошее сходство выходных параметров (табл. 5) с результатами эксперимента.

Проведен статистический анализ математической модели, который позволяет:

- оценить значимость коэффициентов математической модели,
- оценить адекватность математической модели.

Если значимость некоторых их коэффициентов не подтвердилась, то их можно исключить из математической модели без пересчета других коэффициентов. Необходимость пересчета других коэффициентов исключается благодаря тому, что применен ортогональный план. После исключения коэффициентов освобождается дополнительная степень свободы для оценки адекватности математической модели. Эта оценка становится более достоверной.

Поскольку статистический анализ базируется на дисперсии воспроизводимости эксперимента $\frac{S^2}{n}$, то один опыт из матрицы плана проведен несколько раз.

В данном работе опыт №7 и моделируется повторно 3 раза (рис. 6), изменяя типы смазок, используемые при моделировании в программном комплексе Qform:

обозначение:

g-st015 - графит + вода

gw-st-h - графит + вода

glgrp-sst-h - стекло + графит

no-st-h - без использования смазки

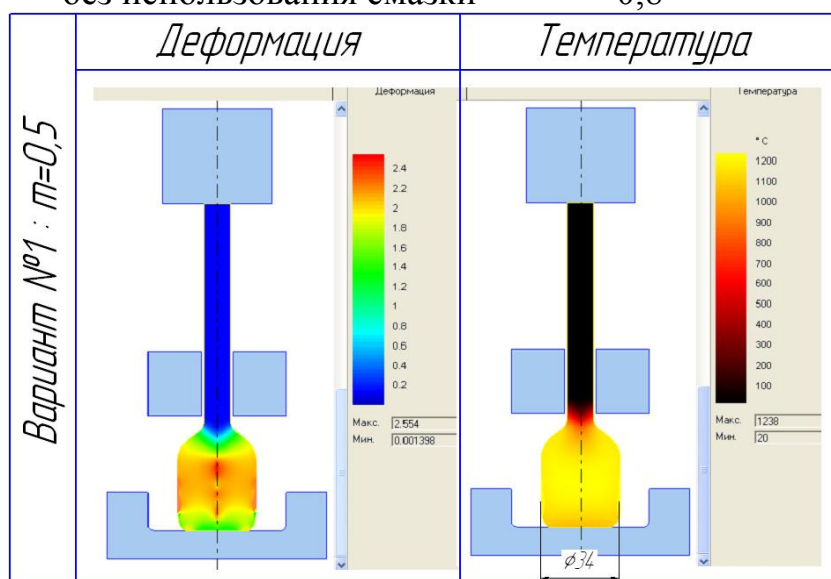
фактор трения:

0,15

0,4

0,1

0,8



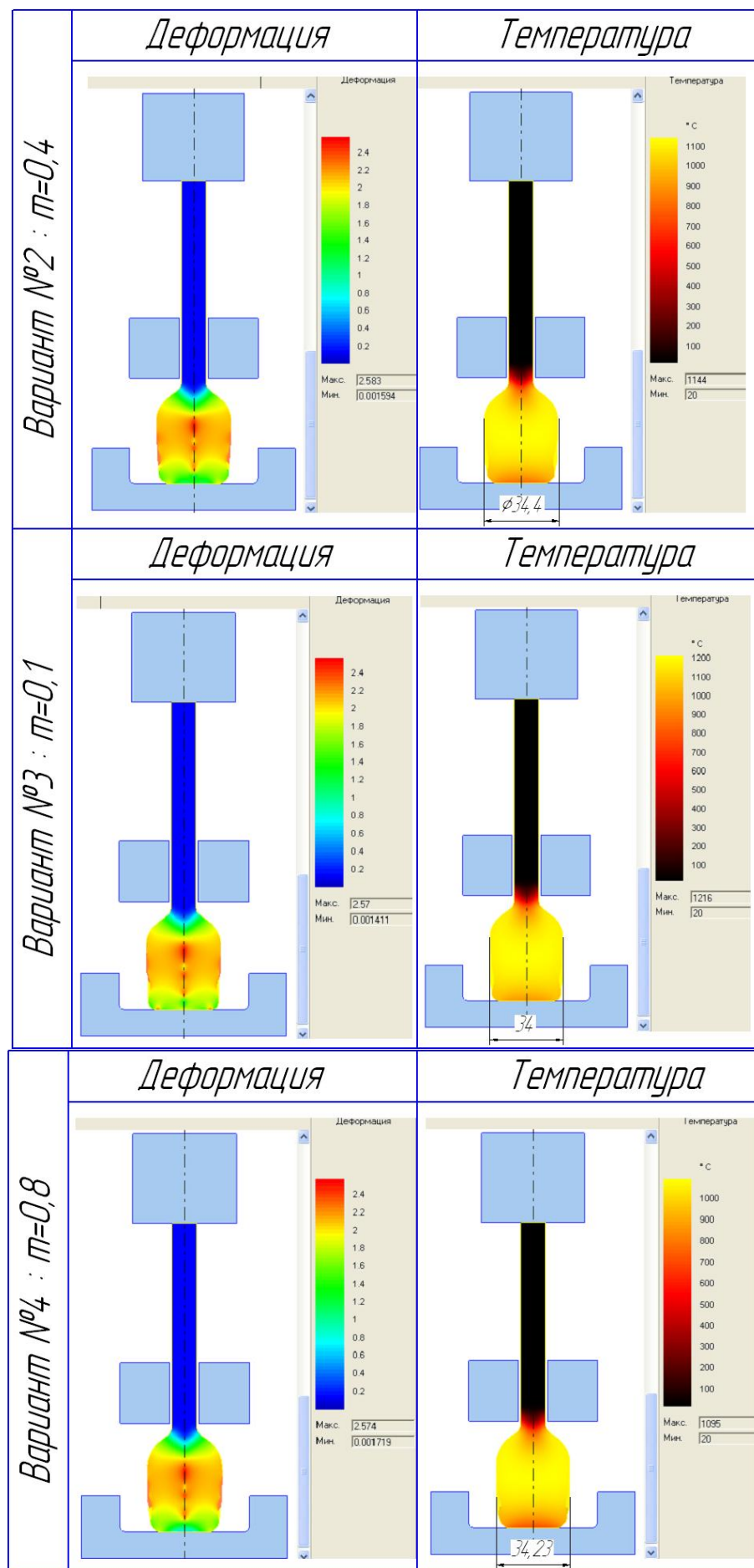


Рис. 6. Варианты моделирования при повторении опыта

Для оценки значимости коэффициентов математической модели:

1. рассчитано среднее арифметическое результатов повторных опытов $\bar{y}$;
2. рассчитана дисперсия воспроизводимости эксперимента

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N - 1}$$

где y_i - результат i -го повторения опыта;

$\bar{y}$ - среднее арифметическое значение повторных опытов;

$f_l = N - 1 = 4 - 1 = 3$ - число степеней свободы при определении дисперсии.

3. рассчитаны дисперсии оценок коэффициентов математических моделей:

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}$$

4. рассчитаны доверительные интервалы коэффициентов регрессии:

$$\Delta_{b_i} = t_{\alpha/2, f_l} \cdot S_{b_i}$$

α - статистическая значимость критерия Стьюдента,

f_l - табличное значение квантилей t –распределения (распределения Стьюдента).

Коэффициенты регрессии признаны статистически значимыми, если их абсолютная величина не менее значения доверительного интервала, т.е. выполняется неравенство:

$$|b_i| \geq \Delta_{b_i}$$

Получены математические модели со статистически значимыми коэффициентами:

$$y_{1к} = 36,937 - 0,997 \cdot x_1 - 0,168 \cdot x_2 - 3,618 \cdot x_3 + 2,535 \cdot x_3,$$

$$y_{2к} = 1221,47 + 101,68 \cdot x_1 + 25,169 \cdot x_2 + 166,73 \cdot x_3 - 149,88 \cdot x_3$$

Подстановкой в полученную математическую модель значений для x_1 и x_2 из матрицы плана экспериментов в кодированном масштабе определены оптимальные значения для 3-го фактора:

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_3}, \quad \frac{\partial y_2}{\partial x_3}$$

$$x_3 = 0,98 \rightarrow X_3 = 10,69 \text{ мм/с},$$

$$x_3 = 0,82 \rightarrow X_3 = 10,65 \text{ мм/с}$$

Учет полученных скоростей движения верхнего инструмента в обеих математических моделях, позволил определить значение скорости равное 10,67 мм/с при расстоянии между электродами равным 25мм и силе тока на

первичной обмотке равной 57А, при которой получается оптимальный диаметр утолщения.

Для оценки адекватности математической модели:

рассчитана дисперсия адекватности математической модели:

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{ирасч} - Y_{иэксп})^2}{f_2}$$

где $f_2 = N - k'$ - число степеней свободы

k' - число коэффициентов мат. модели, признанных значимыми,
расчетное значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{s_{ад}^2}{s_{\beta_1}^2}$$

При этом $F_p < F_m$

Сравнение полученных результатов с табличным значением критерия Фишера, при уровне значимости и числе степеней свободы показало, что гипотеза об адекватности модели на 0,5 % уровне значимости не отвергается.

Таким образом, произведен расчет наилучших параметров штамповки электровысадкой, для чего построено уравнение регрессии по результатам компьютерного эксперимента.

Таким образом, перспективным способ реализации данной задачи является электровысадка, которая позволяет избежать потери устойчивости заготовки, сократить количество технологических переходов на ее изготовление, также не требует дополнительных затрат на оборудование для нагрева. Однако электровысадка менее производительна, чем последующая доштамповка на КГШП в режиме автоматических ходов. Для выравнивания их производительности создается специализированный пресс - двенадцатипозиционная электровысадочная машина (рис. 7).

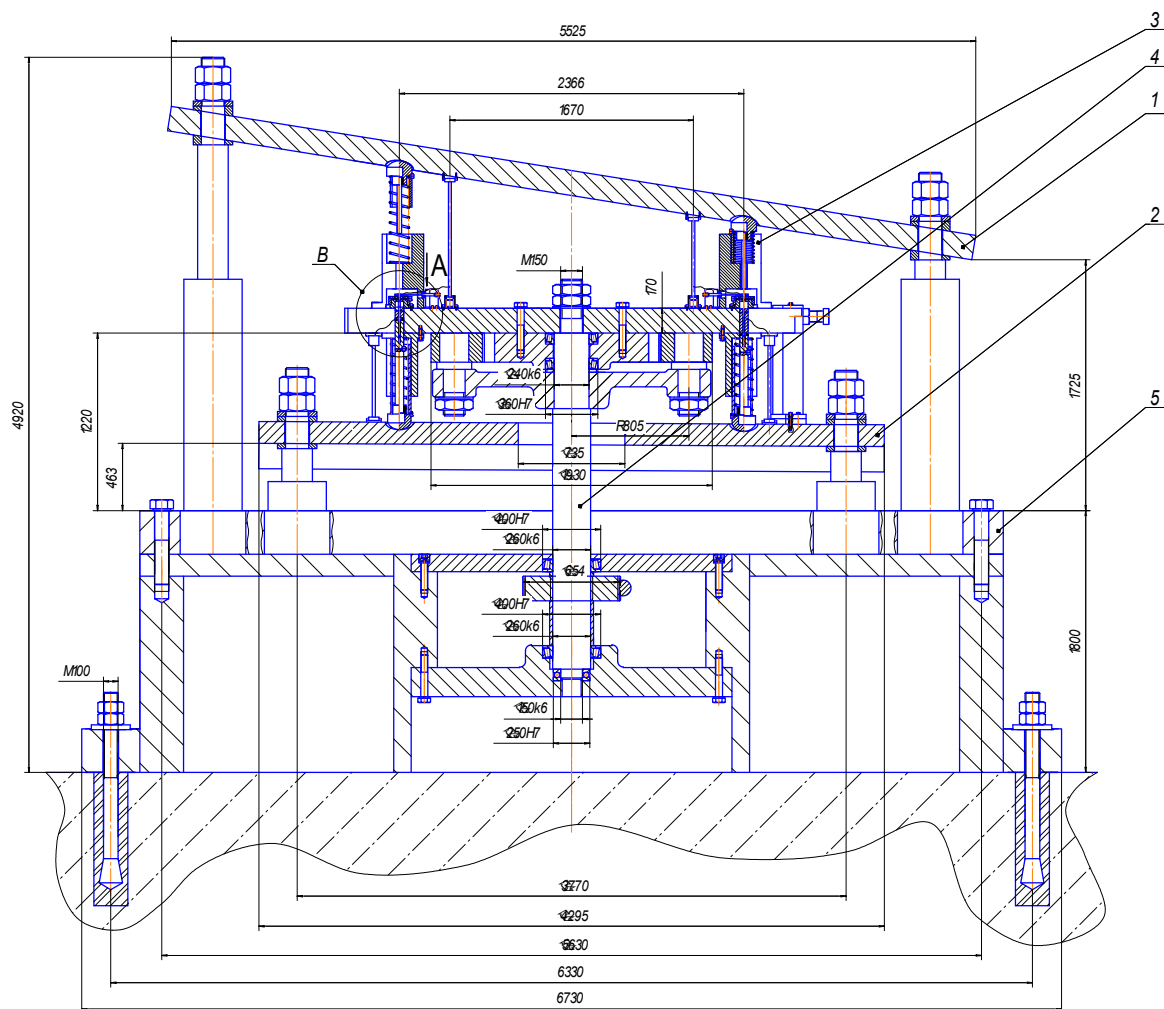


Рис. 7. Двенадцатипозиционная электровысадочная машина

Основные узлы конструкции пресса:

1. верхняя плита,
 2. нижняя плита,
 3. ротор (рис. 8),
 4. привод,
 5. станина.
- В (1:2,5)

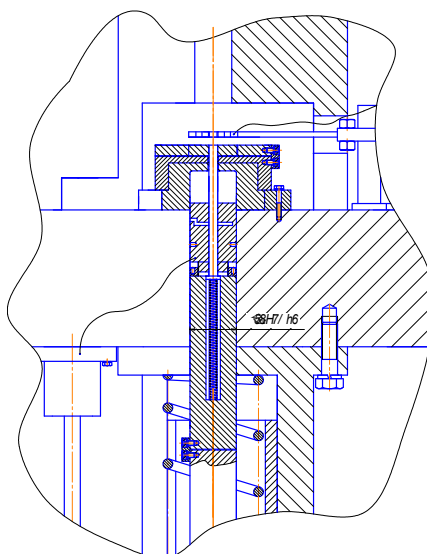


Рис. 8. Ротор

На рис. 9 показано устройство приведения электродов в контакт с заготовкой.

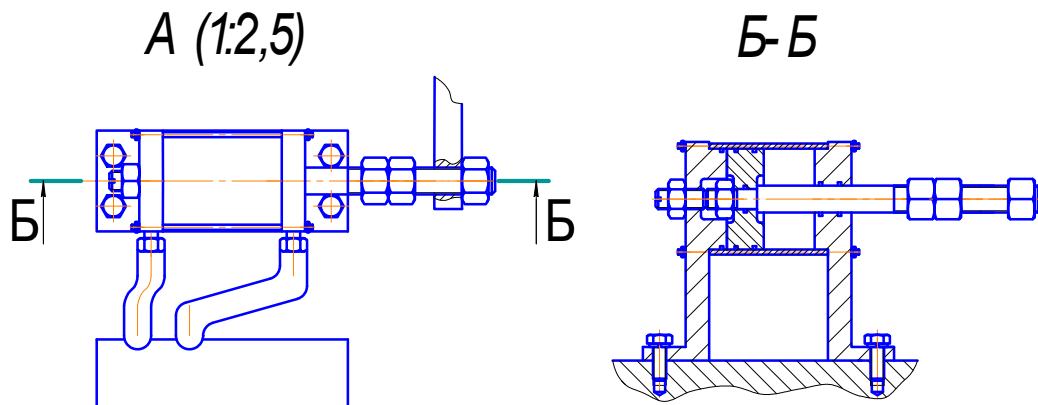


Рис. 9. Электроды

Выводы

Эксплуатация электровысадочных машин совместно с КГШП для технологического процесса получения клапана за один переход позволяет:

- повысить производительность за счет сокращения числа переходов;
- упростить штамповую оснастку из-за ликвидации предварительных переходов и значительно сократить ее расход;
- уменьшить расход металла, поскольку штамповка точных по объему утолщений позволяет уменьшить заусенцы и облой;
- улучшить структуру материала за счет применения одного нагрева;
- упразднить громоздкие нагревательные устройства;
- обеспечить возможность высадки стержней сколь угодно малого диаметра.

Литература

1. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т., Т2. Горячая штамповка /Под ред. *Е. И. Семенова*. Машиностроение 1986г.
2. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т., Т1. Материалы и нагрев /Под ред. *Е. И. Семенова*. Машиностроение 1985г.
3. *Зиновьев И. С., Кондратенко В. Г., Чередниченко А. В.* М/у к домашнему заданию по «Технологии ГОШ», 2000г.
4. *А. П. Атрошенко* «Механизация и автоматизация горячей штамповки», Машиностроение. 1965г.
5. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в 2Т. Т1./ Под ред. *М.В. Сторжева* Машиностроение 1967г. М.
6. *В.Н. Субич, Н.А. Шестаков* У/п «Расчет и проектирование технологических процессов объемной штамповки» МГИУ М. 2003г.
7. *П.И. Полоухин, Г.Я. Гунн, А.М. Галкин* Справочник «Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов» Металлургия 1976г.
8. Расчет технологических процессов элетровысадки. ЭНИКМАШ, 1982г.
9. Кузнечно-штамповочное оборудование. /Под ред. *Ю.А. Бочарова*, Москва 2008г.
10. Моделирование кузнечно-штамповочного оборудования средствами программного комплекса анализа динамических систем ПА9. /Под ред. *Е. Н. Складчикова*, кафедра МТ6 2005г.
11. Применения программ ANSYS и LSDYNA для анализа машин и технологических процессов обработки давлением методом конечных элементов. /Под ред. *А. В. Власова, М. А. Горькова* , Москва 2008г.
12. *Новик Ф.С., Арсов Я.Б.* Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. –М.: Машиностроение–Техника, 1980. – 304 с.
13. QFORM 2D/3D «Программа моделирования объемной штамповки» Версия 4.3 Учебное пособие ООО «КванторФорм» 1991-2006. – 55стр.