

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Институт машиностроения, материалов и транспорта
Высшая школа физики и технологий материалов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВ

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2026

1

УДК 621.762

ББК 30.3:34.43

Авторы:

А.М. Золотов, С.В. Ганин, Р.А. Паршиков, С.А. Котов

Проектирование элементов пресс-форм для прессования изделий из порошков: учеб. пособие / А.М. Золотов, С.В. Ганин, Р.А. Паршиков, С.А. Котов: СПб: ФГАОУ ВО СПбПУ, 2026 – 51 с.

Рассмотрены основные этапы проектирования технологического процесса прессования деталей из порошков, на примере детали типа полого фланца. Рассмотрены вопросы определения кинематики элементов пресс-формы и расчет их прочности.

Рекомендовано в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» и 22.03.02 «Металлургия». Предназначены для студентов Высшей школы физики и технологий материалов ФГАОУ ВО СПбПУ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Основные технологические процессы и операции получения изделий из порошковых материалов конструкционного назначения.	5
2. Этапы проектирования технологического процесса получения изделий из порошков первого класса прочности.	6
2.1. Разработка геометрии заготовки после спекания (назначение припусков и напусков).	8
2.1.1. Выбор припусков под механическую обработку и калибровку.	9
2.1.2. Усадка при спекании	11
2.2. Определение геометрии полости для засыпки порошка и возможности получения отдельных элементов изделий, с учетом допустимой разноплотности.	13
2.2.1. Определение возможности получения выступов и впадин на верхней части фланца. Вариант выступов на верхней поверхности.	15
2.2.2. Определение возможности получения выступов и впадин на верхней части фланца. Вариант выступов на нижней поверхности.	17
2.3. Определение размеров и геометрии матрицы и пуансонов. Основные прочностные расчеты элементов пресс-формы.	21
2.3.1. Основные элементы пресс-форм для холодного прессования металлических порошков	21
2.3.2. Расчет матриц на прочность.	26
2.3.3. Расчет пуансонов на сжатие и изгиб.	30
2.3.4. Чертеж пресс-формы	31
2.4. Циклограмма работы пресс-формы.	32
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ</u>	34
Приложение 1. Зависимости плотности порошков от давления прессования	34
Приложению 2. Пример расчета пресс-формы для прессования внешнего фланца.	34
Приложение 3. Пример расчета пресс-формы для прессования внутреннего фланца.	43

ВВЕДЕНИЕ

Для получения изделий различного назначения и классов прочности из металлических порошков в условиях серийного и мелкосерийного производства наиболее широко используемые технологические процессы включают в себя на начальных этапах холодное прессование в жестких пресс-формах и спекание порошковых заготовок.

При разработке технологии производства изделий проектирование включает в себя следующие этапы:

-Анализ чертежа изделия, включая все размеры, их точность и шероховатость поверхности, а также марку или химический состав порошка. Назначение технологических напусков и припусков на механическую обработку.

-На следующем этапе производится расчет геометрии заготовки перед спеканием, то есть с учетом коэффициентов усадки

-Далее технолог должен определить геометрию полости пресс-формы для засыпки порошка, исходя из кривой прессуемости порошка.

-Исходя из полученных данных и выбранной схемы прессования, можно определить размеры и геометрию матрицы и пуансонов, а также провести основные прочностные расчеты элементов пресс-формы.

В качестве примера рассмотрен процесс проектирования получения детали типа полого фланца из порошка железа и углерода.

1. Основные технологические процессы и операции получения изделий из порошковых материалов конструкционного назначения.

В таблице 1 представлены основные технологические процессы и операции получения конструкционных изделий из порошковых материалов.

Таблица 1.

Условия работы деталей	Класс точно-сти	Группа сложно-сти	Малосерийное производство		Средне- и массовое производство	
			Основные технологические операции	Дополнительные операции	Основные технологические операции	Дополнительные операции
Малонагруженные	4 - 7	1 - 7	А	М, И, П	А	К, И, П
	1 - 3	1 - 7	А	М, И, П	А, Б	К, И, П
Умеренно-нагруженные	4 - 7	1 - 7	Б, Е, Ж	М, ТО, И, П	Б, Е, Ж	И, П
	1 - 3	1 - 4	Б	М, ТО, И, П	Б	ТО, И, П
		5, 7	Б	ТО, Д, И, П	Б	ТО, Д, И, П
Средненагруженные	4 - 7	1 - 7	Г, Е, Ж	М, ТО, П	Г, Е, Ж	ТО, П
	1 - 3	1 - 7	В, Г, Ж	ТО, Д, П	В, Г, Ж	ТО, Д, П
Тяжелонагруженные	4 - 7	1 - 7	В, Г, Н	М, ТО, П	В, Г, Н	ТО, П
	1 - 3	1 - 7	В, Г, Н	ТО, Д, П	В, Г, Н	ТО, Д, П

А- холодное прессование + спекание; Б - двойное прессование + спекание;

Г- холодное прессование + спекание + горячая штамповка + отжиг;

В - холодное прессование + спекание + холодная штамповка + отжиг;

Н - холодное прессование + спекание + горячая штамповка с истечением металла + отжиг;

Е - холодное прессование + пропитка легкоплавким металлом;

Ж - спекание порошка в форме + пропитка легкоплавким металлом; К - калибровка;

И- пропитка кремнеорганической жидкостью и полимеризация;

М- механическая обработка; **ТО**- термическая обработка; **П**- нанесение покрытий;

Д- Шлифовка и доводка.

Как можно заметить основными параметрами, определяющими перечень и виды применяемых технологических операций, являются «Условия работы деталей» (первая колонка) и последние две колонки (мало – и средне - и массовое производство). Кроме того, все операции обработки подразделяются на основные, то есть операции прессования порошка, спекания спрессованных заготовок, дополнительные формообразующие и дополнительные – связанные с механообработкой спеченых или дополнительно обработанных заготовок, а также операцию калибровки.

Колонка, связанная с классом точности, определяет последовательность операций финишной обработки. Колонка группы сложности заготовки определяет схему вида прессования (количества необходимых верхних и нижних пуансонов для получения геометрии заготовки).

2. Этапы проектирования технологического процесса получения изделий из порошков первого класса прочности.

Наиболее широко используемые технологические процессы получения изделий различных классов прочности в серийных производствах включают в себя на начальных этапах холодное прессование в жестких пресс-формах и спекание порошковых заготовок (основные технологические операции: **А, В, Г, Н**).

В этом случае технологический процесс как для получения малонагруженных деталей из порошковых материалов, который был выбран

в качестве объекта проектирования, так и другие перечисленные операции включает в себя:

- прессование заготовок из порошка в пресс-форме;
- спекание заготовок;
- механическую обработку спеченных заготовок до требуемой точности и шероховатости поверхности.

При разработке технологии производства изделий проектирование происходит в обратной последовательности по следующим этапам:

1. В качестве исходной информации технолог получает чертеж изделия, включая все размеры, их точность и шероховатость поверхности, а также марку или химический состав порошка. На первом этапе технолог должен назначить технологические напуски и припуски на механическую обработку. ***Полученная геометрия заготовки будет соответствовать геометрии заготовки после спекания.***
2. На втором этапе производится расчет геометрии заготовки перед спеканием, то есть с учетом коэффициентов усадки ***определяется геометрия заготовки после прессования.***
3. На третьем этапе технолог должен определить геометрию полости пресс-формы для засыпки порошка, исходя из кривой прессуемости порошка (зависимость плотности порошка заготовок от давления прессования), возможности получения отдельных элементов изделий, с учетом допустимой разноплотности.
4. Исходя из полученных данных на предыдущем этапе и выбранной схемы прессования, на четвертом этапе технолог может определить размеры и геометрию матрицы и пуансонов, а также провести основные прочностные расчеты элементов пресс-формы.

Рассмотрим, в качестве примера, процесс проектирования получения детали типа полого фланца из порошка железа и углерода.

2.1 Разработка геометрии заготовки после спекания (назначение припусков и напусков).

Чем сложнее геометрия изделия, тем сложнее должна быть пресс-форма для его прессования. (См. Таблица 1, колонки «Класс точности» (2) и «Группа сложности» (3)) [Кипарисов] В зависимости от конкретных условий производства и серийности выпуска изделия технолог должен принять решение: либо получить максимально точную заготовку с минимальными припусками (или без них), но при этом значительно усложнить конструкцию пресс-формы и трудоемкость процесса прессования, что характерно для серийного и массового производства, либо упростить конфигурацию прессуемого изделия за счет назначения технологических напусков и припусков и упростить конструкцию пресс-формы, в случае мелкосерийного или единичного производства. В этом случае речь идет о получении заготовки, из которой в последствии после дополнительной обработки будет получено готовое изделие.

Разработка чертежа заготовки изделия и проектирование технологии состоит из нескольких этапов:

- анализ геометрии готовой детали;
- выбор способа и схемы прессования изделия с учетом необходимых дополнительных формообразующих операций, определение энергосиловых параметров процесса прессования, выбор оборудования;
- исходя из технологических возможностей выбранного способа и схемы прессования, назначить необходимые технологические напуски (упрощения формы заготовки, вследствие технологических ограничений процесса

прессования), припуски для механической обработки и калибровки (геометрия заготовки после спекания и после калибровки);

- определить упругое последствие заготовки в результате прессования (номинальные размеры полости пресс-формы);
- выбор порошкового материала и способа его подготовки для прессования если он не задан заранее;
- по объему заготовки после прессования и плотности материала определить необходимый объем порошка;
- на основании полученных результатов разработать чертеж заготовки с указанием припусков, размеров заготовки с допусками и размеров готовой детали (указываются в скобках), в некоторых случаях выполняются также чертежи заготовок после спекания и после прессования для контроля качества после этих операций.

2.1.1 Выбор припусков под механическую обработку и калибровку.

Наличие упругого последствия и усадки при спекании приводит к изменению размеров изделий в процессе их изготовления. Требования по точности и шероховатости поверхности к готовым изделиям в большинстве случаев более жесткие чем разброс этих параметров у спеченных изделий. В этом случае для их доработки используются дополнительные операции механической обработки некоторых поверхностей или калибровки. В том и другом случае должен быть предусмотрен специальный припуск на обработку (слой материала, добавляемый на обрабатываемую поверхность). Для обработки резанием оставляется припуск 0,2 - 0,5 мм на сторону для чистового точения за один проход и 0,1 – 0,3 мм при шлифовании поверхности. На калибровку - припуск 0,1 -0,2 мм на сторону. Во многих случаях припуск приходится оставлять из-за несоответствия шероховатости

поверхности изделий из порошков после спекания, которая составляет R_z 20, а после калибровки R_a 2,5. Применение дополнительных операций обработки повышает трудоемкость изготовления изделий, в то же время в результате расширения поля допусков на размеры изделия после прессования и спекания снижается стоимость конструкции и изготовления инструмента.

При чистовом точении можно достичь шероховатость поверхности R_a 2,5 – 1,25, а при шлифовании - R_a 0,25 – 0,12. Если необходимо сразу после спекания получить шероховатость, как после шлифования, то необходимо сначала обработать ее точением, а затем шлифованием, то есть припуски от точения и шлифования суммируются. Конкретные характеристики, которые можно получить при обработке, зависят от точности и типа конкретного обрабатывающего оборудования.

Рассмотрим примеры назначения припусков и напусков.

Пример.

На рисунке 2.1 представлен чертеж готовой детали с указанием шероховатостей.

Для шероховатости $R_a=0,63$ выбираем припуск 0,5 мм (чистовое точение+шлифование), для всех остальных поверхностей припуск составляет 0,2 мм.(чистовое точение)

$$\varnothing 30: 30-2*0,5 = 29 \text{ мм}$$

$$\varnothing 34: 34-2*0,2 = 33,6 \text{ мм (назначается технологический напуск } \varnothing 30)$$

$$\varnothing 60 : 60+2*0,2 = 60,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 92: 92+2*0,2 = 92,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 112: 112-2*0,2 = 111,6 \text{ мм}$$

$$\varnothing 132: 132+2*0,2 = 132,4 \text{ мм}$$

$$H8: 8+0,5+0,2 = 8,7 \text{ мм}$$

$$H_{10}: 10+0,2+0,5 = 10,7 \text{ мм}$$

$$H_{60}: 60+2*0,2 = 60,4 \text{ мм}$$

Вопрос получения выступов и впадин на верхней поверхности фланца будет решен позже.

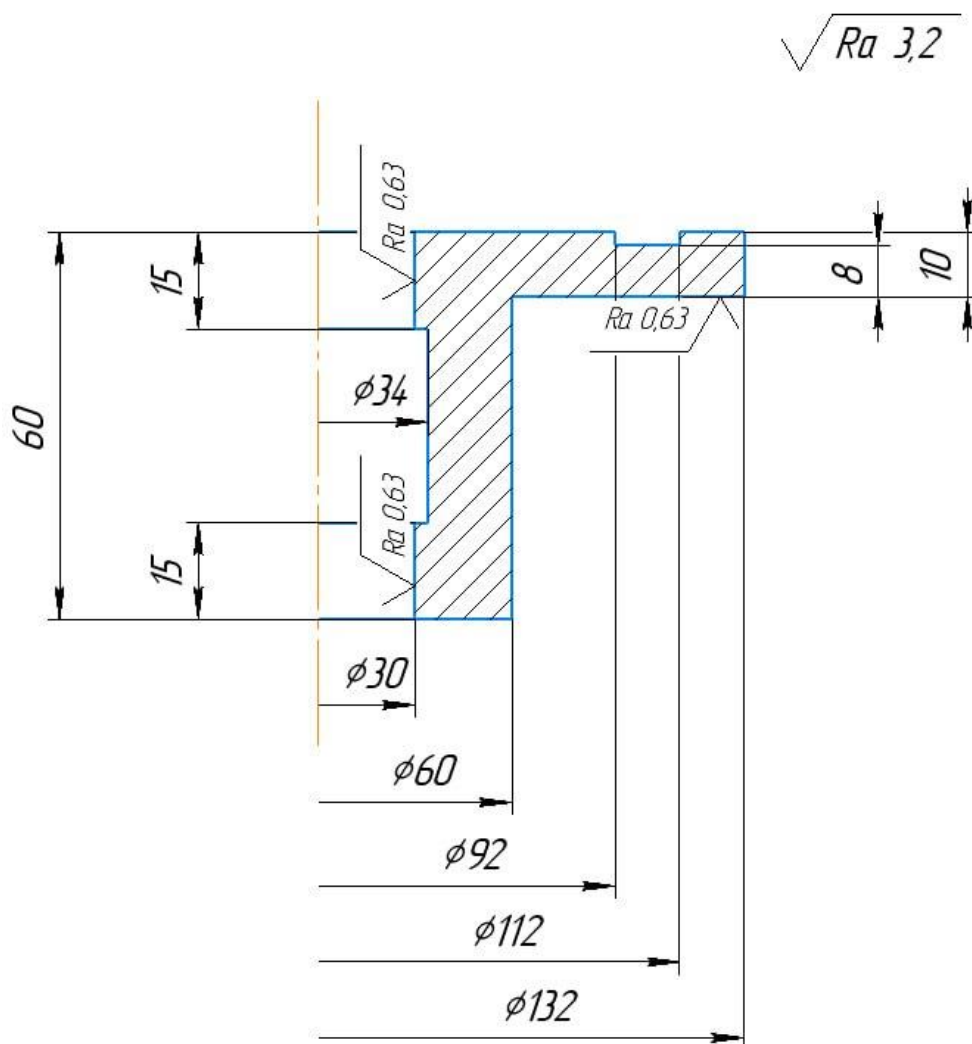


Рис.2.1 - Чертеж готовой детали

Полученная геометрия заготовки будет соответствовать геометрии заготовки после спекания.

2.1.2 Усадка при спекании.

Полученное в результате прессования изделие проходит операцию спекания. Вследствие объемных деформаций материала при спекании происходит усадка или рост объема, в зависимости от химического состава порошка. Следует иметь в виду, что величина объемных деформаций и их распределение в изделии зависит от распределения плотности после прессования и схемы прессования. Неравномерность плотности является одной из основных причин коробления изделий после спекания.

Следует иметь в виду, что коэффициенты усадки зависят не только от химсостава порошка, но и от способа его получения, условий хранения и партии. Кроме того, коэффициенты усадки могут иметь разные значения в вертикальном и горизонтальном направлениях, например у цилиндрических заготовок из порошка, полученных прессованием в матрице.

Пример.

В примере даны коэффициенты усадки для цилиндрических заготовок из железного порошка, полученных прессованием в матрице.

$$K_B = 1,008; K_T = 1,016$$

$$\varnothing 30: 29 * 1,016 = 29,464 \text{ мм} \approx 29,45 \text{ мм}$$

$$\varnothing 60: 60,4 * 1,016 = 61,3664 \text{ мм} \approx 61,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 92: 92,4 * 1,016 = 93,8784 \text{ мм} \approx 93,9 \text{ мм}$$

$$\varnothing 112: 111,6 * 1,016 = 113,3856 \text{ мм} \approx 113,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 132: 132,4 * 1,016 = 134,5184 \text{ мм} \approx 134,5 \text{ мм}$$

$$H8: 8,7 * 1,008 = 8,7696 \text{ мм} \approx 8,8 \text{ мм}$$

$$H10: 10,7 * 1,008 = 10,7856 \text{ мм} \approx 10,8 \text{ мм}$$

$$H60: 60,4 * 1,008 = 60,8832 \text{ мм} \approx 60,9 \text{ мм}$$

Таким образом мы определяем геометрию заготовки после прессования.

2.2 Определение геометрии полости для засыпки порошка и возможности получения отдельных элементов изделий, с учетом допустимой разноплотности.

Кривая прессуемости порошка и определение необходимого давления прессования.

Формование представляет собой процесс получения из порошковых материалов изделий (**прессовок**), обладающих такой прочностью, при которой полученное изделие можно извлечь из формующего инструмента и подвергнуть дальнейшей обработке.

Процесс формования в жестких пресс-формах характеризуется давлением и временем прессования. В отличие от компактных материалов порошковые материалы могут деформироваться как вследствие деформации отдельных частиц, так и вследствие их смещения относительно друг друга. Таким образом изменяется не только форма, но и объем порошка. При формовании может происходить одновременно упругая, хрупкая и пластическая деформация частиц. Процесс формования складывается из 3-х основных стадий (рис. 1).

3. Обычно при формовании высота заготовки по отношению к высоте насыпанного порошка уменьшается в 2,5- 3 раза и больше.

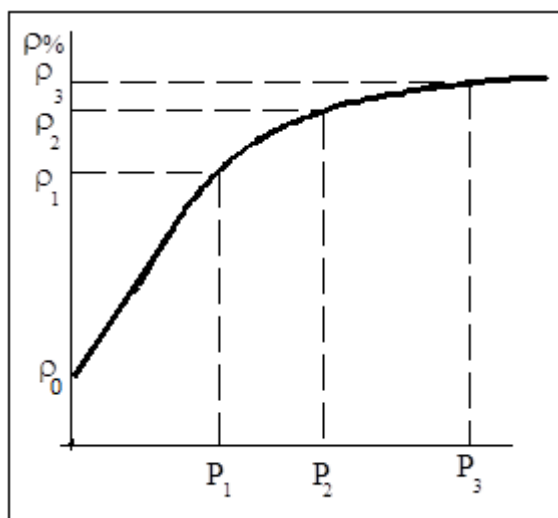


Рис.2.2 Зависимость плотности изделия от давления прессования.

Одной из главных задач при формовании наряду с получением заданной формы, точности размеров и достаточной механической прочности является получение заданной плотности изделия. От плотности зависят как эксплуатационные характеристики готового изделия, так и ряд специальных свойств, например, антифрикционные. Это обусловлено тем, что во время дальнейшего спекания происходит дополнительное уплотнение изделия, что в свою очередь приводит к усадке, приводящей к короблению изделий.

Теоретически можно получить изделие со 100% плотностью, соответствующей компактному материалу. Но как видно по кривой уплотнения (рис. 1) на последних стадиях уплотнения при прессовании удельные усилия прессования резко возрастают без значительного изменения величины плотности. Удельные усилия могут достигать при этом 1500 МПа и более. Такие значения удельных усилий близки к пределу текучести материалов, используемых для изготовления инструмента для пресс-форм.

Таким образом при выборе давлений прессования необходимо исходить из условий достижения максимальной плотности изделий с учетом реальной стойкости пресс-форм. Исходя из практического опыта, давление прессования составляет для порошков [1]:

на основе меди 400 - 600 МПа

на основе железа 600 - 800 МПа

на основе титана 700 - 900 МПа

Для каждого конкретного материала порошка может быть получена опытным путем своя кривая уплотнения, позволяющая наиболее точно определить необходимое давление прессования.

2.2.1. Определение возможности получения выступов и впадин на верхней части фланца. Вариант выступов на верхней поверхности.

Таблица 2 - Данные для построения кривой прессования. (95%Fe, 5%С)

ρ, г/см ³	3,0	4,17	4,84	5,16	5,42	5,92	6,08	6,14	6,21	6,34
P, Мпа	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900

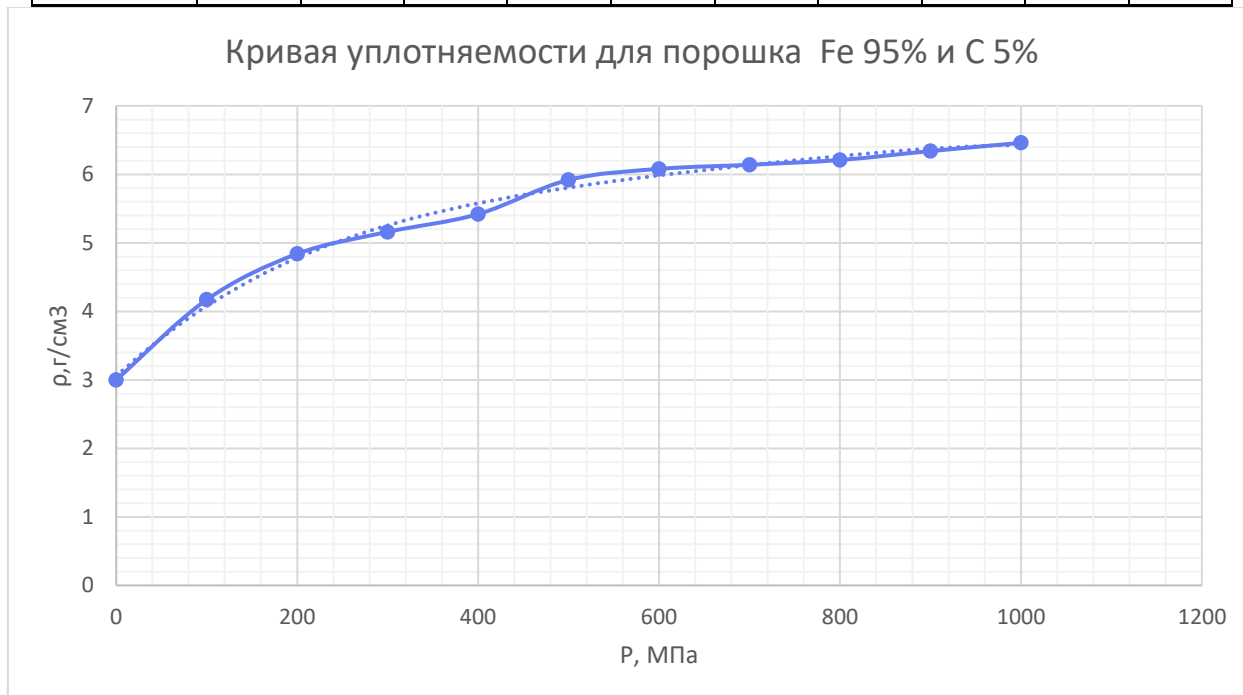


Рис. 2.2.1 – Кривая уплотняемости для порошка Fe 95% и С 5%

Заданная разноплотность между элементами фланца составляет 15%.

$$\rho_0 = 3,0 \text{ г/см}^3; \rho_{P=800} = 6,21 \text{ г/см}^3$$

Максимальная плотность заготовки будет в самой тонкой части фланца (рис. 2.3.). Высота засыпки во фланцевой части будет равна

$$h_H = \frac{6,21 \cdot 8,8}{3} = 18,216 \text{ мм},$$

$$\rho_{k2} = \frac{h_H \cdot \rho_{\text{нас}}}{h_{k2}} = \frac{18,216 \cdot 3}{8,8} = 6,21 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_{k1} = \frac{h_{H1} \cdot \rho_{\text{нас}}}{h_{k1}} = \frac{18,216 \cdot 3}{10,8} = 5,06 \text{ г/см}^3 \text{ — значение плотности на выступе}$$

Разница плотностей составила 19% (>15%).

Назначим напуск на впадину 1 мм и пересчитаем высоту засыпки и разноплотность.

$$h_n = \frac{6,21 * 9,8}{3} = 20,3 \text{ мм}$$

Тогда новая плотность

$$\rho_{k1} = \frac{h_{n1} * \rho_{нас}}{h_{k1}} = \frac{20,3 * 3}{10,8} = 5,64 \text{ г/см}^3$$

В данном случае разноплотность составляет 9% (<15%).

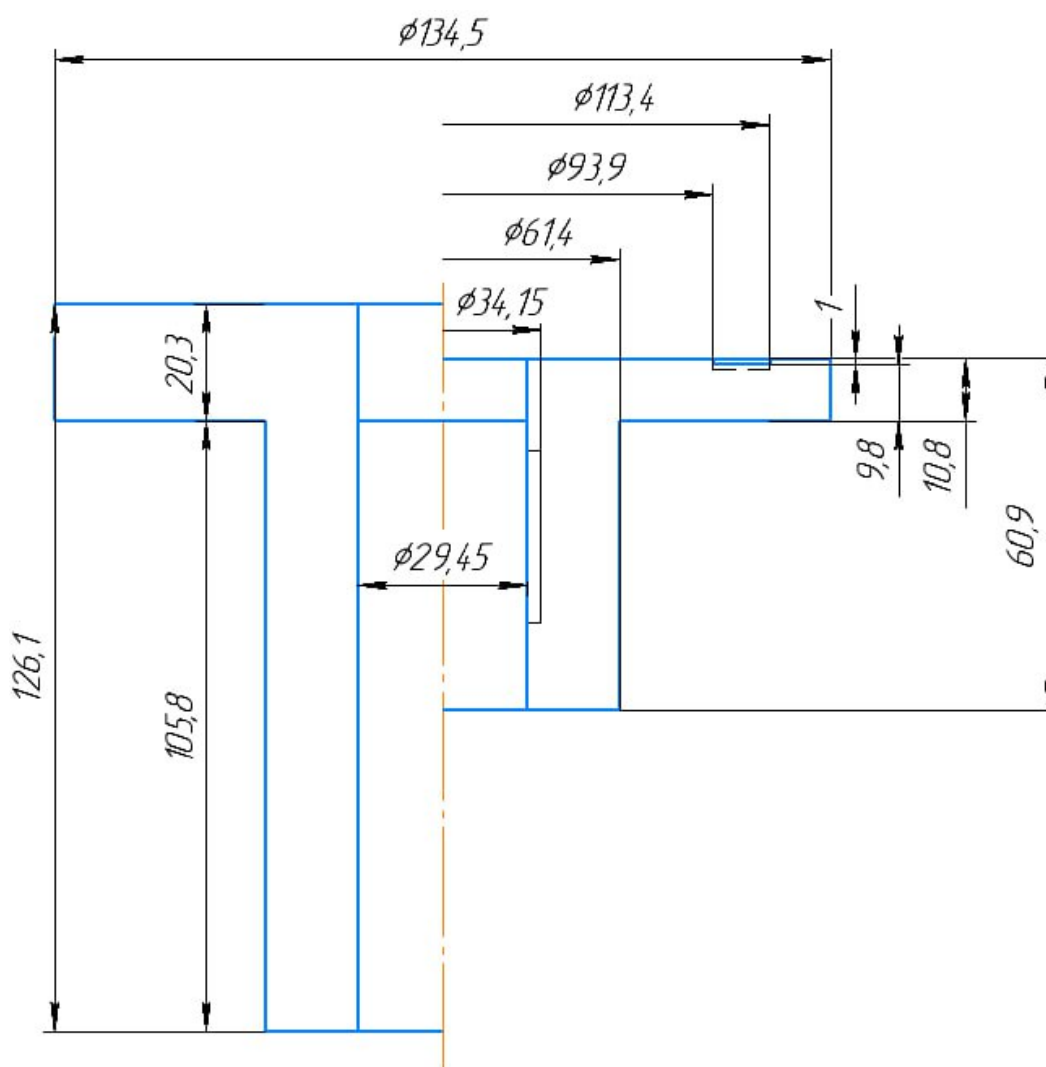


Рис. 2.3 - Размеры заготовки перед спеканием и размеры засыпки порошка в пресс-форме.

Расчет высоты засыпки

$$h_{\text{зн}} = \frac{6,21 * 60,9}{3} = 126,1 \text{ мм (общая высота свободной засыпки)}$$

$$h_{\text{верх}} = \frac{6,21 * 9,8}{3} = 20,3 \text{ мм}$$

$$h_{\text{нижн}} = 126,1 - 20,3 = 105,8 \text{ мм}$$

Таким образом мы определили геометрии спрессованной заготовки и размеры полости для засыпки порошка.

2.2.2. Определение возможности получения выступов и впадин на верхней части фланца. Вариант выступов на нижней поверхности.

На рис. 4 представлен чертеж готовой детали с указанием шероховатостей.

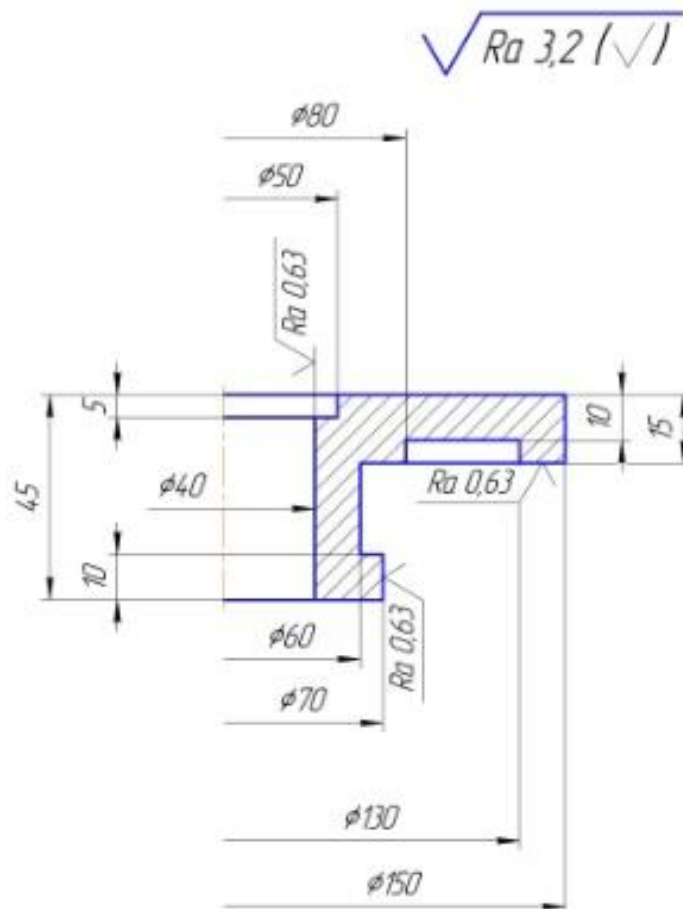


Рис. 4 Чертеж детали типа фланца

Для шероховатости $Ra=0,63$ выбираем припуск $0,5$ мм, всех остальных поверхностей припуск составляет $0,2$ мм.

$$\varnothing 40 : 40 - 2*0,5 = 39 \text{ мм}$$

$$\varnothing 70 : 70 + 2*0,5 = 71 \text{ мм}$$

$$\varnothing 80 : 80 + 2*0,2 = 80,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 130 : 130 - 2*0,2 = 129,6 \text{ мм}$$

$$\varnothing 150 : 150 + 2*0,2 = 150,4 \text{ мм}$$

$$H10 : 10 + 2*0,2 = 10,4 \text{ мм}$$

$$H15 : 15 + 0,2+0,5 = 15,7 \text{ мм}$$

$$H45 : 45 + 2*0,2 = 45,4 \text{ мм}$$

В нашем случае усадка в горизонтальном и вертикальном направлении различна.

$$K_B = 1,008; K_T = 1,016$$

$$\varnothing 40 : 39*1,016 = 39,6 \text{ мм}$$

$$\varnothing 70 : 71* 1,016 = 72,1 \text{ мм}$$

$$\varnothing 80 : 80,4 * 1,016 = 81,7 \text{ мм}$$

$$\varnothing 130 : 129,6 *1,016 = 131,7 \text{ мм}$$

$$\varnothing 150 : 150,4* 1,016 = 152,8 \text{ мм}$$

$$H10 : 10,4 *1,008 = 10,5 \text{ мм}$$

$$H15 : 15,7 *1,008 = 15,8 \text{ мм}$$

$$H_{45} : 45,4 * 1,008 = 45,8 \text{ мм}$$

Схема расчёта разноплотности для определения напуска для выступов в нижней фланца представлена на рис. 2.4:

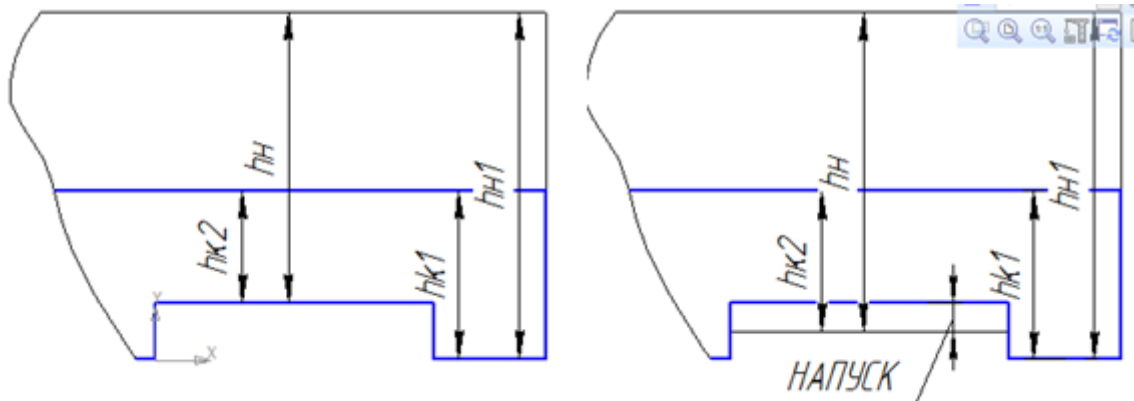


Рис. 2.4 Схема расчета разноплотности выступа на фланце.

Заданная разноплотность между элементами фланца составляет 15%.

$$\rho_{k1,2} = \frac{h_{H,H1} * \rho_{нас}}{h_{k1,2}}$$

$$\rho_{k2} = \frac{h_n * \rho_{нас}}{h_{k2}} = \frac{23,79 * 3}{10,48} = 6,81 \text{ } ^\circ/\text{см}^3$$

$$\rho_{k1} = \frac{h_{н1} * \rho_{нас}}{h_{k1}} = \frac{28,79 * 3}{15,83} = 5,63 \text{ } ^\circ/\text{см}^3$$

Разница плотностей составила 21% (>15%), пересчитаем высоту засыпки и разноплотность с напуском на высоту впадины 2 мм.

$$h_n = \frac{12,48 * 6,7}{3} = 27,9 \text{ мм, высота насыпки}$$

Тогда новая плотность в выступе будет

$$\rho_{k1} = \frac{h_{н1} * \rho_{нас}}{h_{k1}} = \frac{31,3 * 3}{15,83} = 5,93 \text{ } ^\circ/\text{см}^3$$

В данном случае разноплотность составляет 14,8% (<15%).

На рис. 2.5. представлены размеры заготовки перед спеканием и размеры засыпки порошка в пресс-форму.

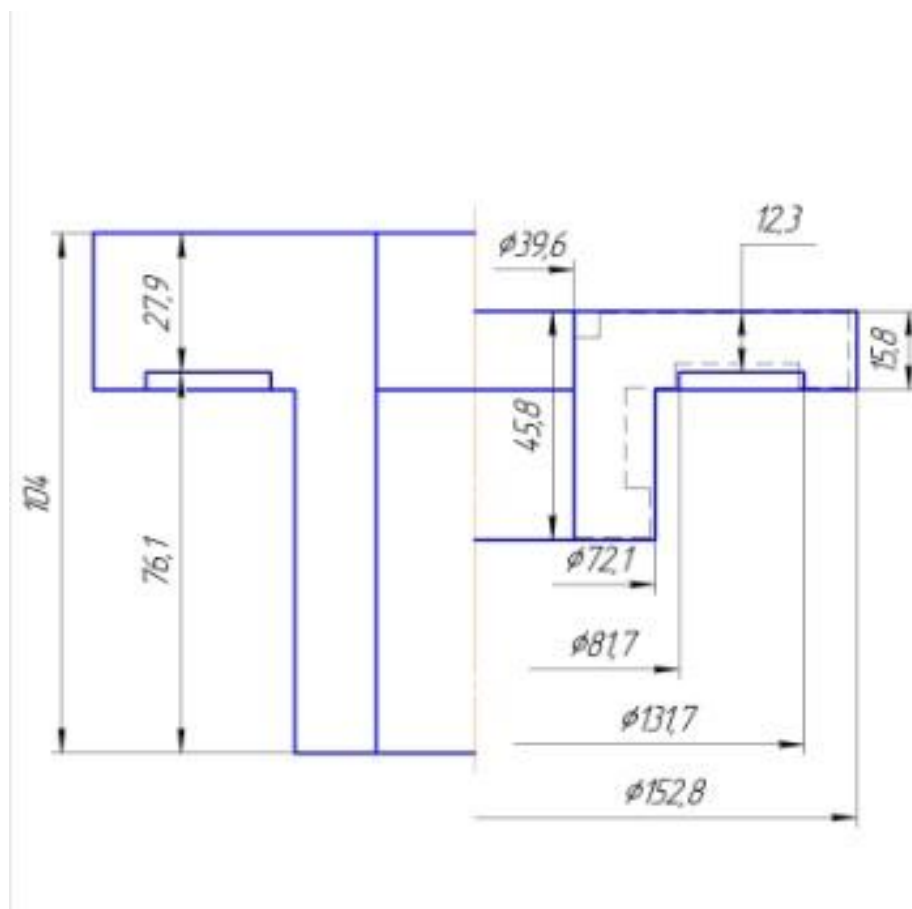


Рис.2.5 Размеры заготовки перед спеканием и размеры объема засыпки порошка в пресс-форму.

$$P = 800 \text{ МПа } \rho_k = 6,81 \text{ г/см}^3, \rho_0 = 3 \text{ г/см}^3$$

$$V = 714423,1 \text{ мм}^3 = 414,42 \text{ см}^3$$

$$m = 3 \cdot 414,42 = 2143 \text{ г.}$$

$$\frac{\rho_k}{\rho_0} = \frac{h_0}{h_k}$$

$$h_k = \frac{6,81 \cdot 45,8}{3} = 104 \text{ мм (общая высота свободноссыпанного порошка)}$$

$$h_{\text{верх}} = \frac{6,81 * 12,3}{3} = 27,9 \text{ мм}$$

$$h_{\text{нижн}} = 104 - 27,9 = 76,1 \text{ мм}$$

2.3. Определение размеров и геометрии матрицы и пуансонов. Основные прочностные расчеты элементов пресс-формы.

Исходя из полученных данных на предыдущем этапе и выбранной схемы прессования, на четвертом этапе технолог может определить размеры и геометрию матрицы и пуансонов, а также провести основные прочностные расчеты элементов пресс-формы.

2.3.1 Основные элементы пресс-форм для холодного прессования металлических порошков.

Любая пресс-форма для прессования металлических порошков представляет собой матрицу и пуансоны (рис.2.6). Порошок насыпается в матрицу и уплотняется затем при помощи пуансонов. Для получения отверстий в полых изделиях используются стержни.

В зависимости от конструкции пресс-формы прессование порошка осуществляется либо верхним, либо нижним пуансоном, либо обеими пуансонами вместе.

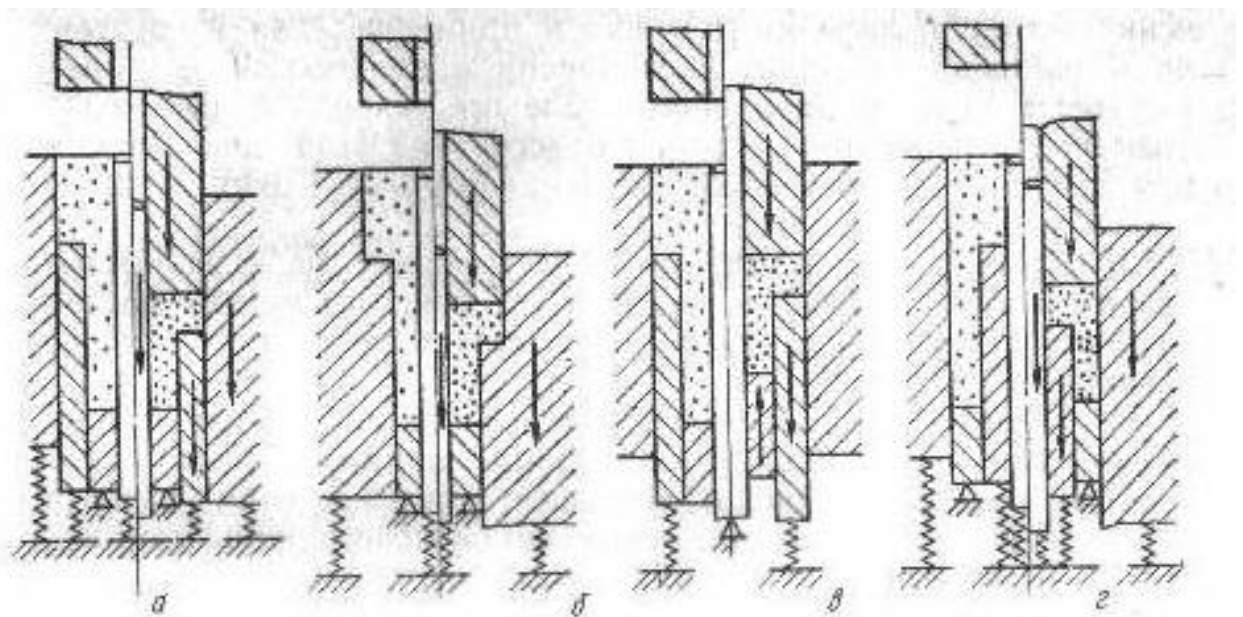


Рис. 130. Схемы прессования деталей V группы сложности:
 а — прессование с формированием выступающих частей при помощи специального нижнего пуансона; б — прессование с формированием выступающих частей в матрице; в — прессование с перемещением нижнего и верхнего пуансонов (нижний пуансон для бурта давится вниз при помощи пружины); г — прессование штулки с внутренним буртом

Рис.2.6 Схемы прессования детали типа полого фланца.

Выталкивание изделия может производиться как пуансонами (верхним или нижним), либо путем стягивания матрицы с прессовки. Формование может производиться как в автоматическом режиме так и в ручном.

В качестве вспомогательных элементов для осуществления дополнительных поступательных движений матриц и стержней используются пружины.

В подавляющем большинстве случаев блок пресс-формы с направляющими колоннами, гидроцилиндрами и другими элементами непосредственно связан со станиной и приводом гидравлических прессов для прессования порошков. В данном случае в соответствии со схемами прессования, представленными на рис. 2.6, рассматривается схем с одним верхним и двумя нижними подвижными частями пресс-формы.

На рис. 2.7 представлена схема для определения основных размеров сменных элементов пресс-формы для прессования внешних фланцев, а также

подвижных траверс, матрицедержателя, высотных размеров матрицы, прижимных колец и др.

На правом виде можно видеть геометрию полостей пресс-форм, повторяющим рис. 2.3, то есть геометрию полостей засыпки и после прессования. Эта информация является основой для определения перемещений пуансонов при прессовании порошка.

Указаны также минимальные зазоры между подвижными элементами при их перемещении.

Толщины траверс и матрицедержателя выбраны исходя из размеров матрицы и других диаметров получаемых заготовок. Размеры матрица (см. правый вид) – высота определяется по высоте засыпки + по 5 мм сверху и снизу. Эти расстояния определяются по условиям засыпки. Внутренний диаметр матрицы задается габаритным диаметром спрессованной заготовки, а внешний – в 2 раза больше внутреннего (по условию жесткости матрицы при прессовании).

Исходя из габаритных размеров элементов пресс-форм, желательно использовать болты М12-М16. Толщина прижимных колец пуансонов – 10 мм.

Данная схема позволяет определить размеры для внешних фланцев. Длины нижних пуансонов определяются условиями выпрессовки (см. левый вид). Минимальный размер высоты между болтами крепления и пуансонодержателем (сверху) и подвижной траверсой (снизу) 5 – 10 мм.

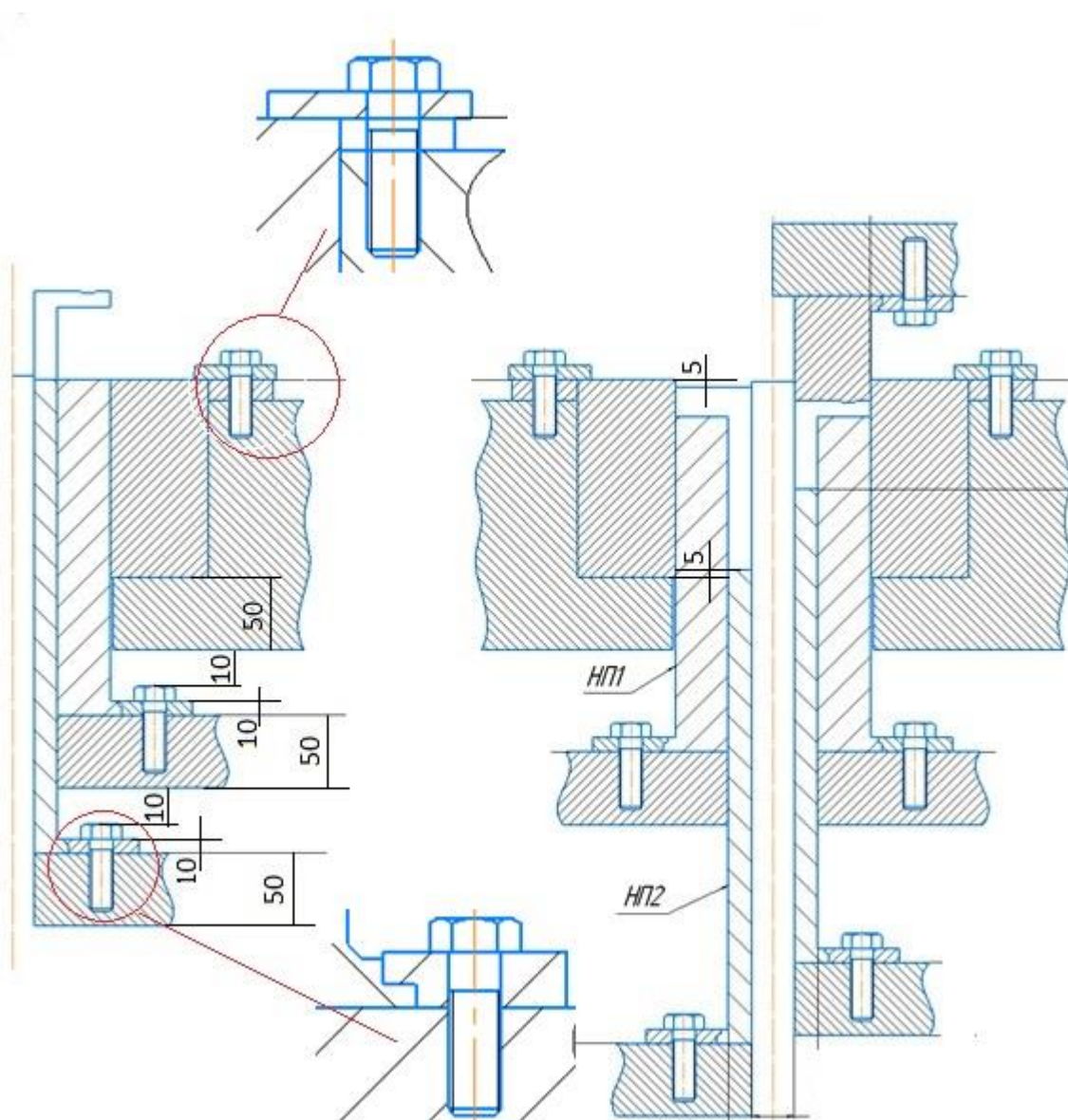


Рис.2.7 Схема для определения основных размеров сменных элементов пресс-формы для внешнего фланца.

Размеры верхнего пуансона определяются исходя из конструктивных параметров.

На рис. 2.8 Представлена схема для определения основных размеров сменных элементов пресс-формы для внутреннего фланца.

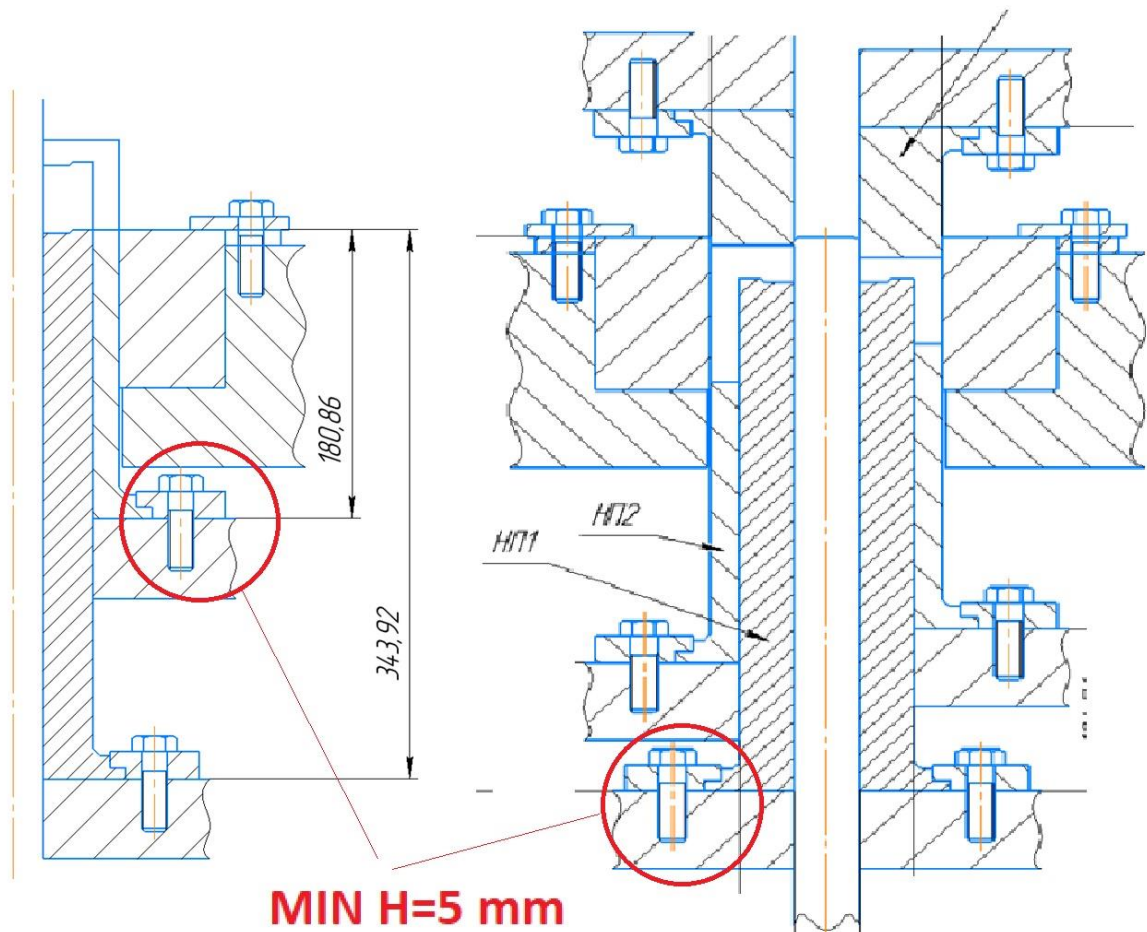


Рис.2.8 Схема для определения основных размеров сменных элементов пресс-формы для внутреннего фланца.

Особенностью определения длины нижних пуансонов при прессовании данного вида деталей является то, что высота пуансона, формирующего втулку фланцевой детали определяется по условиям выпрессовки (левый вид), а высота второго пуансона, формирующего фланцевую часть, определяется по положению пуансонов при засыпке порошка. Все остальные размеры сменных элементов определяются аналогично схемы на рис. 2.7.

2.3.2. Расчет матриц на прочность.

Матрица пресс-формы рассматривается как толстостенная труба, нагруженная равномерно распределенным по высоте внутренней стенки боковым давлением p_6 (рис.2.9). Под действием этого давления в стенке матрицы возникают радиальные и тангенциальные растягивающие напряжения, достигающие своего максимума на внутренней поверхности матрицы.

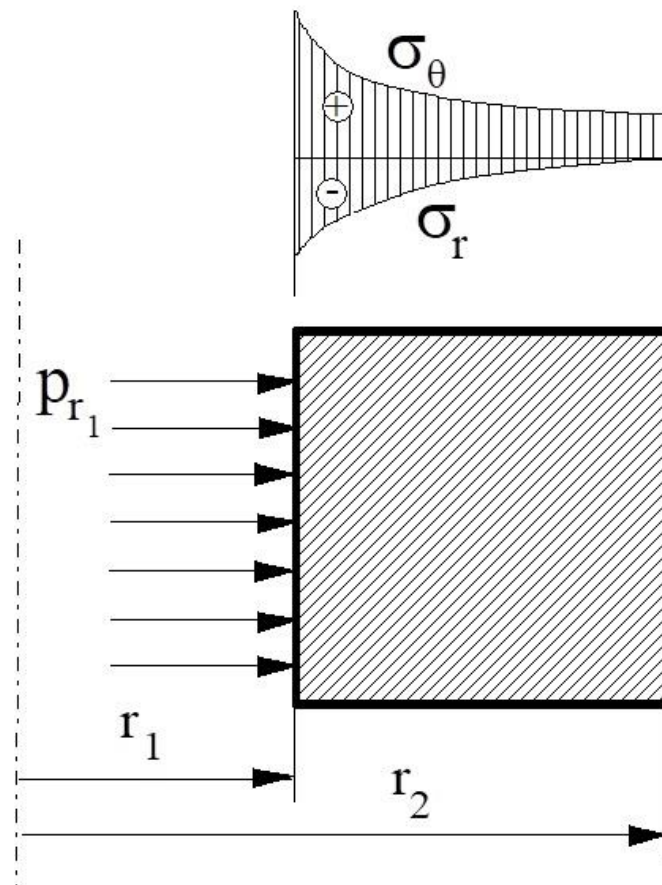


Рис.2.9 Схема нагружения матрицы внутренним давлением.

$$\sigma_r = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} * (1 - \frac{r_2^2}{r^2}) * p_6 ; \quad \sigma_\theta = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} * (1 + \frac{r_2^2}{r^2}) * p_6$$

где

r_1 - внутренний радиус матрицы;

r_2 - внешний радиус матрицы;

Следовательно, исходя из реальной прочности материала матрицы для условия

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_r + \sigma_\theta \quad \text{получаем } p_6 < [\sigma_p]/2,$$

где $\sigma_p = 1000 - 1500$ МПа.

Расчет прочности матрицы производится для соотношения $r_2/r_1 = a = 2$, то есть для толстостенной матрицы. В этом случае нет необходимости учитывать жесткость матрицы.

Таблица 3. Значения допустимого относительного приращения внутреннего радиуса матрицы ε_{r1} %

Значения $a = r_2/r_1$	Боковое давление p_6 МПа			
	300	400	500	600
4.0	0,085	0,115	0,145	0,170
3.5	0,096	0,130	0,160	0,190
3.0	0,114	0,150	0,180	0,220
2.5	0,135	0,180	0,225	0,265
2.0	0,180	0,240	0,300	0,360

Боковое давление.

При прессовании порошковых материалов в жестких пресс-формах на первом этапе наблюдается относительно равномерное уплотнение материала. Затем, в результате возникновения связей между отдельными частицами порошка и их трением о внутреннюю поверхность пресс-формы осевое давление начинает превышать давления на боковые стенки. Величина бокового давления распределяется неравномерно по высоте пресс-формы. Вследствие действия сил трения в направлении противоположном направлению прессования, усилие прессования расходуется на их преодоление, поэтому происходит уменьшение осевого давления по высоте изделия, а следовательно и бокового давления на стенки. В общем случае потери на трение зависят от материала порошка, шероховатости поверхности матрицы, коэффициента трения, геометрии полости пресс-формы.

Потери на преодоление сил трения могут достигать до **60%** от усилия прессования, а **боковое давление** составляет примерно **40%** от давления прессования непосредственно у поверхности пуансона и **15-20 %** на наибольшем удалении от него (при одностороннем прессовании - в нижней части, при двухстороннем - посередине).

Наличие бокового давления и сил трения вызывает неравномерное распределение плотности по высоте готового изделия. Плотность в общем случае снижается в направлении прессования. Зона максимальной плотности находится на некотором удалении от прессующего (подвижного относительно матрицы) пуансона, так как возникают силы трения на торцевой поверхности пуансона.

Для повышения однородности получаемых изделий по плотности используют различные технологические приемы и схемы прессования, применяются различные смазки, используют схемы двухстороннего

прессования или схему с “плавающей матрицей”. При прессовании полых изделий для более эффективного “перемешивания” порошка во время рабочего хода применяется относительное движения стержня и матрицы и др. Особенно большое внимание уделяется этому вопросу при прессовании изделий сложной формы (фланцев, ступенчатых втулок и т.д.). В этом случае используются специальные пресс-формы, имеющие до 5 подвижных элементов.

Пример расчета прочности матриц для прессования внешнего фланца

При расчете прочности матриц рассматриваются два случая:
 - давление на внешнюю матрицу;
 - давление на внешний нижний пуансон со стороны втулки (1).

$$\sigma_r = \frac{67,25^2}{134,5^2 - 67,25^2} \cdot \left(1 - \frac{134,5^2}{67,25^2}\right) \cdot 280 = -280 \text{ МПа}$$

$$\sigma_\theta = \frac{67,25^2}{134,5^2 - 67,25^2} \cdot \left(1 + \frac{134,5^2}{67,25^2}\right) \cdot 280 = 467 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{эКВ}} = \sigma_\theta - \sigma_r < [\sigma] = 1000-1200 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{эКВ}} = 467 - (-280) = 747 \text{ МПа} < [\sigma]$$

Расчет для условий прессования втулки (НП1)

$$\sigma_{r1} = \frac{30,7^2}{61,4^2 - 30,7^2} \cdot \left(1 - \frac{61,4^2}{30,7^2}\right) \cdot 280 = -140 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\theta1} = \frac{30,7^2}{61,4^2 - 30,7^2} \cdot \left(1 + \frac{61,4^2}{30,7^2}\right) \cdot 280 = 233,34 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{эКВ1}} = \sigma_{\theta1} - \sigma_{r1} < [\sigma] = 1000-1200 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{эКВ1}} = 233 - (-140) = 373 \text{ МПа} < [\sigma]$$

Внимание! При расчете прочности элементов пресс-формы для прессования внутренних фланцев проверяется только прочность матрицы.

2.3.3. Расчет пуансонов на сжатие и изгиб.

При работе пуансоны подвергаются сжатию и продольному изгибу. По условию контактного давления пуансоны рассчитываются по формуле

$$\sigma_k = p_z / F_k < [\sigma_{0,2}]$$

где $[\sigma_{0,2}]$ - допустимые контактные напряжения материала пуансона; МПа

p_z - осевое усилие прессования МН;

F_k - площадь контактной поверхности пуансона.

Пуансоны, имеющие длину $l > 3 d$, необходимо проверять на устойчивость. Усилие, при котором может начаться продольный изгиб пуансона, определяются по выражению

$$P_k = (2 * \pi^2 * E * I_{min}) / l^2$$

где l - длина свободной части пуансона м;

I_{min} - минимальный момент инерции сечения пуансона м⁴.

J_{min} - минимальный момент инерции сечения пуансона м.

$J_{min} = 0,1 \cdot (D_{нар}^4 - D_{ст}^4)$, где $D_{ст}$ и $D_{нар}$ - диаметры стержня (детали) и наружный диаметр пуансона соответственно.

$$l_1 = 231,1 \text{ мм} = 0,2311 \text{ м}$$

$$D_{cm} = 29,45 = 0,02945 \text{ м}$$

$$D_{нар1} = 61,4 \text{ мм} = 0,0614 \text{ м}$$

$$P_{k1} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 215 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot (0,0614^4 - 0,02945^4)}{0,2311^2} = 107 \text{ МН}$$

$$P1 = 11,25 * 800 = 9 \text{ МН}$$

$$l_2 = 326,1 \text{ мм} = 0,3261 \text{ м}$$

$$D_{cm} = 29,45 = 0,02945 \text{ м}$$

$$D_{нар2} = 134,5 \text{ мм} = 0,1345 \text{ м}$$

$$P_{k2} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 215 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot (0,1345^4 - 0,0614^4)}{0,3261^2} = 125 \text{ МН}$$

$$P2 = 2,28 * 800 = 1,82 \text{ МН}$$

P_k - критическое усилие изгиба,

$P_{1,2}$ – действующее усилие

2.3.4. Чертеж пресс-формы.

После проверки показателей прочности элементов пресс-формы и необходимой коррекции размеров производится окончательное оформление чертежа конструкции пресс-формы (рис. 2.10).

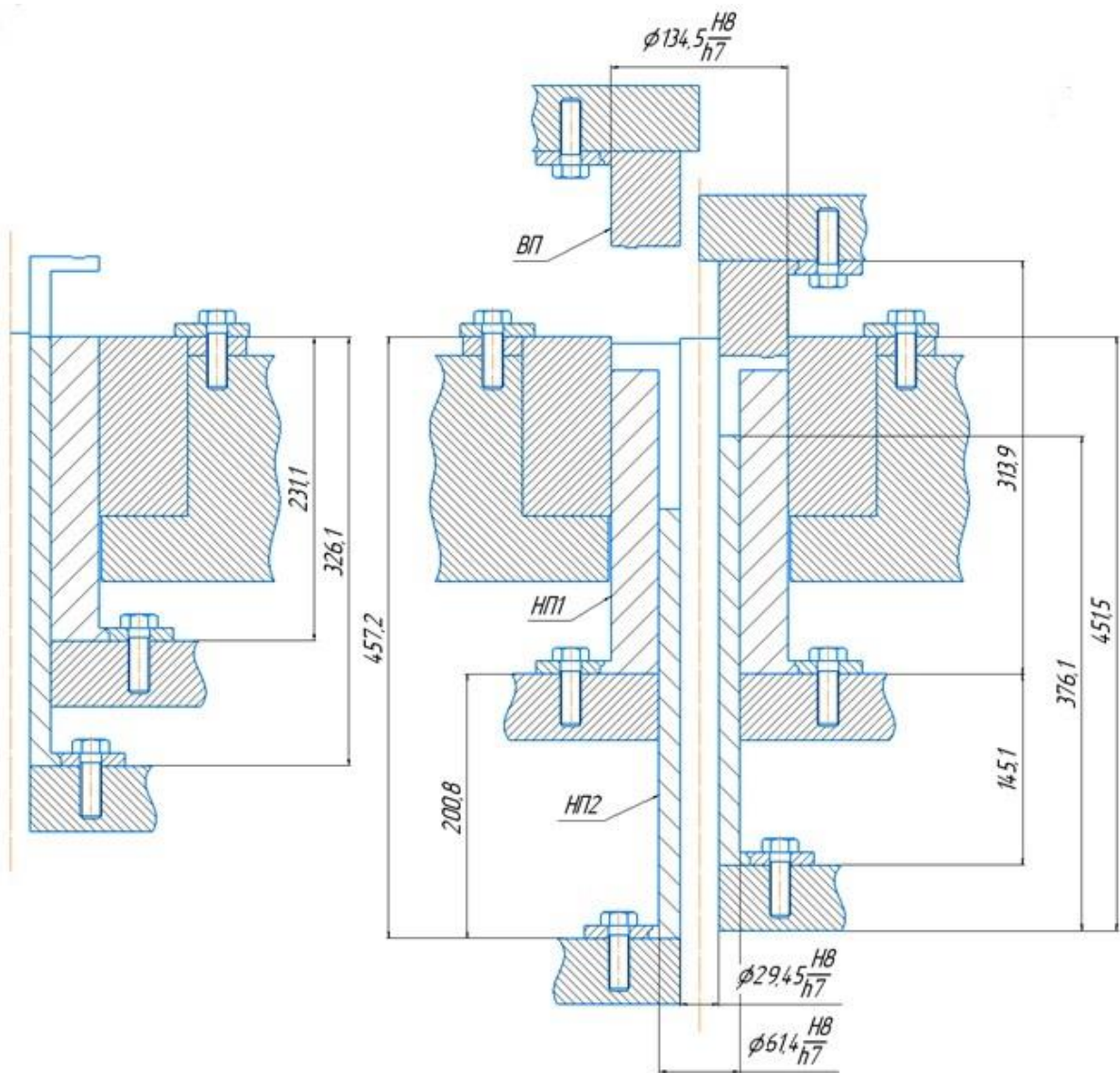


Рис.2.10 Сборочный чертеж пресс-формы.

2.4. Циклограмма работы пресс-формы.

Циклограмма работы пресс-формы служит для определения кинематических параметров движения пуансонов и длительности цикла процессов прессования.

Все необходимы размеры, для ее построения, получены из сборочного чертежа пресс-формы (рис. 2.10)

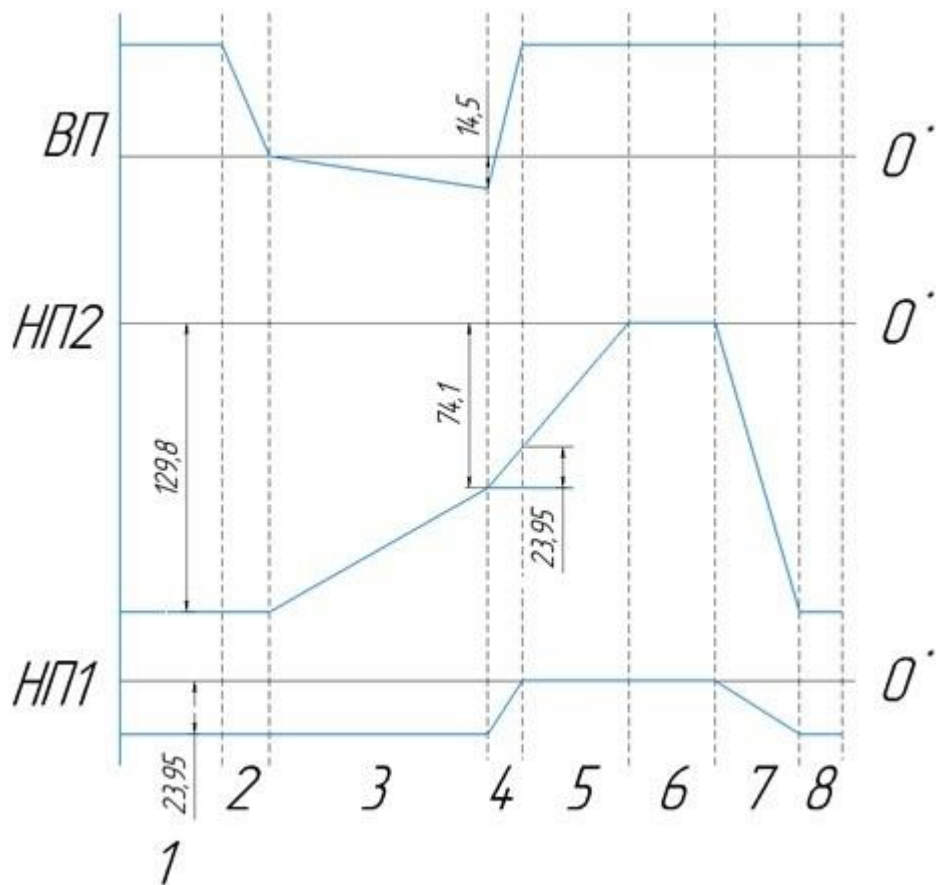


Рис.2.11 Циклограмма работы пресс-формы.

Этапы работы пресс-формы, где:

1-засыпка порошка;

2-подвод верхнего пуансона (ВП) к позиции начала прессования;

3-рабочий ход, прессование;

4-отвод ВП в верхнее положение, выпрессовка;

5-завершение выпрессовки;

6-снятие выпрессовки;

7-отвод нижнего пуансона (НП) в положение засыпки порошка;

8-засыпка порошка;

**-нулевой отметкой является верхний торец матрицы;*

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1.

Таблица 4. Зависимости плотности порошков от давления прессования

Состав Марка плотность - %	Плотность (абсолютная и относительная) при давлении холодного прессования, МПа									
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Fe-99 C-1	3,2	4,22	5,11	5,63	6,04	6,31	6,52	6,68	6,81	7,12
	41,86	55,2	66,8	73,6	78,9	82,5	85,2	87,3	89,0	93,0
Fe- 97 C-3	3,3	4,24	4,96	5,51	5,93	6,12	6,31	6,37	6,44	6,72
	44,91	57,7	67,4	74,9	80,7	83,2	85,8	86,7	87,6	91,4
Fe- 95 C-5	3,5	4,17	4,84	5,16	5,42	5,92	6,08	6,14	6,21	6,34
	50,44	60,1	69,8	74,4	78,2	85,4	87,6	88,6	89,6	91,5
Fe- 90 C-10	3,45	4,03	4,49	4,68	5,04	5,44	5,62	5,65	5,71	5,73
	55,3	64,6	72,1	75,1	80,8	87,2	90,0	90,5	91,6	91,8
Fe- 85 C-15	3,4	3,88	4,05	4,18	4,49	4,92	5,01	5,08	5,13	5,23
	60,81	69,4	72,4	74,8	80,3	88,0	89,6	91,0	91,7	93,3
Fe- 80 C-20	3,35	3,70	3,82	3,88	4,07	4,17	4,38	4,42	4,47	4,67
	64,65	71,4	73,7	74,9	78,6	80,5	84,5	85,3	86,3	90,1
ПЖ2М1 (Fe)	3,3	4,02	4,66	5,28	5,59	5,94	6,20	6,37	6,44	6,62
	42,03	51,2	59,4	67,3	71,2	75,6	79,0	81,1	82,0	84,3

Приложению 2

Пример расчета пресс-формы для прессования внешнего фланца.

1. Назначение напусков и припусков

На рисунке 2.1 представлен чертеж готовой детали с указанием шероховатостей.

Для шероховатости $Ra=0,63$ выбираем припуск $0,5$ мм, для всех остальных поверхностей припуск составляет $0,2$ мм.

$$\varnothing 30: 30 - 2 * 0,5 = 29 \text{ мм}$$

$$\varnothing 34: 34 - 2 * 0,2 = 33,6 \text{ мм (назначается технологический напуск } \varnothing 30)$$

$$\varnothing 60 : 60 + 2 * 0,2 = 60,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 92: 92 + 2 * 0,2 = 92,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 112: 112 - 2 * 0,2 = 111,6 \text{ мм}$$

$$\varnothing 132: 132 + 2 * 0,2 = 132,4 \text{ мм}$$

$$H8: 8 + 0,5 + 0,2 = 8,7 \text{ мм}$$

$$H10: 10 + 0,2 + 0,5 = 10,7 \text{ мм}$$

$$H60: 60 + 2 * 0,2 = 60,4 \text{ мм}$$

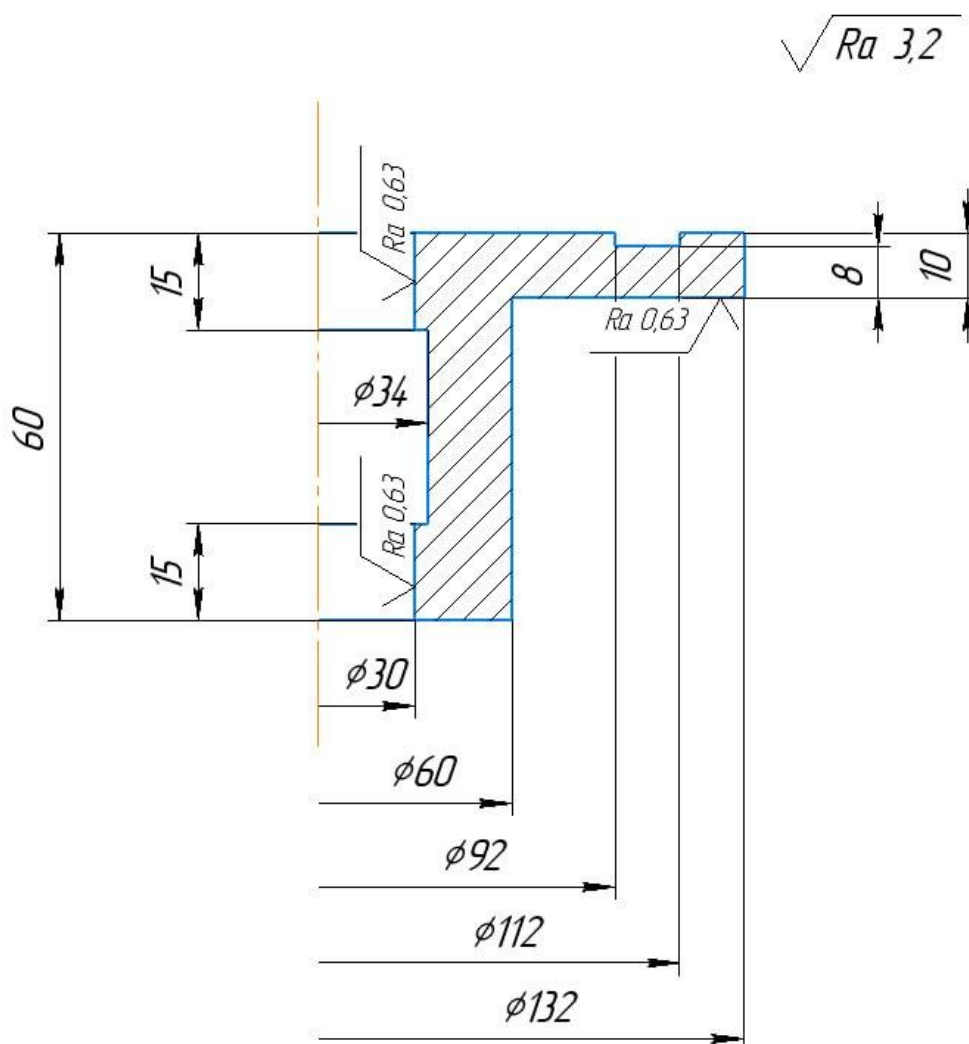


Рис.2.1 - Чертеж готовой детали

2. Усадка при спекании

В нашем случае усадка в горизонтальном и вертикальном направлении различна.

$$K_B = 1,008; K_T = 1,016$$

$$\varnothing 30: 29 * 1,016 = 29,464 \text{ мм} \approx 29,45 \text{ мм}$$

$$\varnothing 60: 60,4 * 1,016 = 61,3664 \text{ мм} \approx 61,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 92: 92,4 * 1,016 = 93,8784 \text{ мм} \approx 93,9 \text{ мм}$$

$$\varnothing 112: 111,6 * 1,016 = 113,3856 \text{ мм} \approx 113,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 132: 132,4 * 1,016 = 134,5184 \text{ мм} \approx 134,5 \text{ мм}$$

$$H8: 8,7 * 1,008 = 8,7696 \text{ мм} \approx 8,8 \text{ мм}$$

$$H10: 10,7 * 1,008 = 10,7856 \text{ мм} \approx 10,8 \text{ мм}$$

$$H60: 60,4 * 1,008 = 60,8832 \text{ мм} \approx 60,9 \text{ мм}$$

3. Расчет высоты засыпки

Таблица 1 - Данные для построения кривой прессования. (95%Fe, 5%C)

ρ , г/см ³	3,0	4,17	4,84	5,16	5,42	5,92	6,08	6,14	6,21	6,34
P, МПа	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900

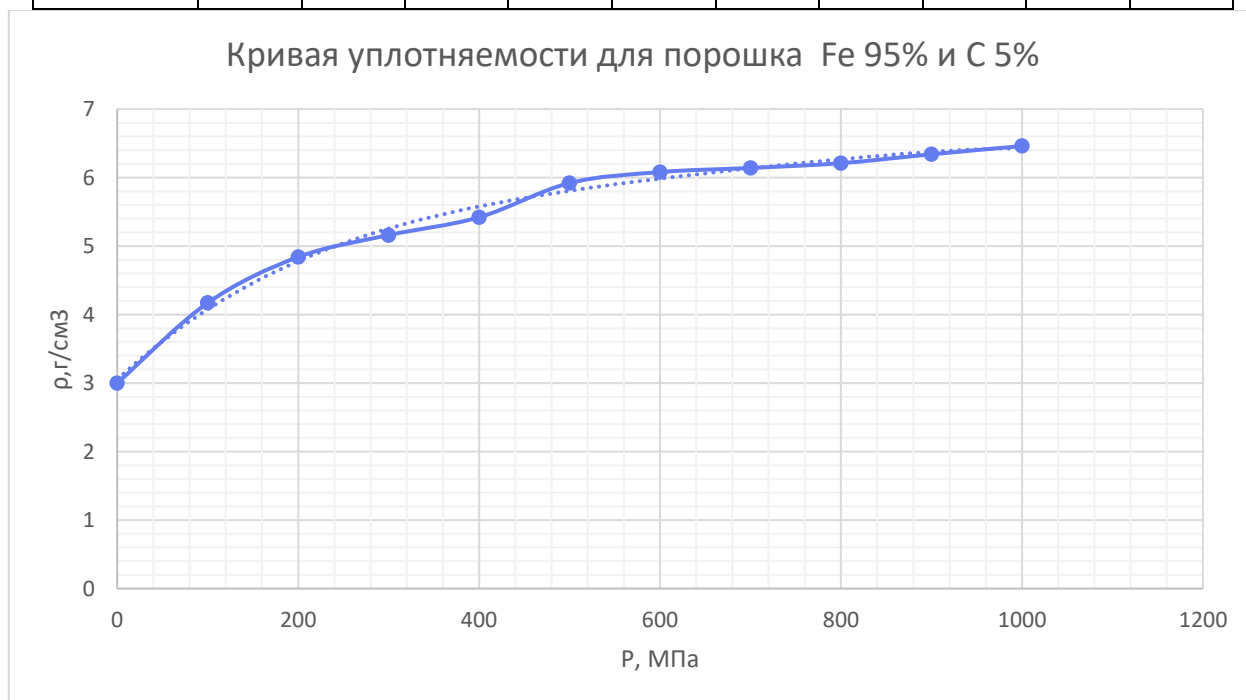


Рис. 2 – Кривая уплотняемости для порошка Fe 95% и C 5%

Заданная разноплотность между элементами фланца составляет 15%.

$$\rho_0 = 3,0 \text{ г/см}^3; \rho_{P=800} = 6,21 \text{ г/см}^3$$

$$h_H = \frac{6,21 * 8,8}{3} = 18,216 \text{ мм}$$

$$\rho_{k2} = \frac{h_H * \rho_{нас}}{h_{k2}} = \frac{18,216 * 3}{8,8} = 6,21 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_{k1} = \frac{h_{H1} * \rho_{нас}}{h_{k1}} = \frac{18,216 * 3}{10,8} = 5,06 \text{ г/см}^3$$

Разница плотностей составила 19% (>15%), пересчитаем высоту засыпки и разноплотность с напуском 1 мм.

$$h_H = \frac{6,21 * 9,8}{3} = 20,3 \text{ мм}$$

Тогда новая плотность

$$\rho_{k1} = \frac{h_{H1} * \rho_{нас}}{h_{k1}} = \frac{20,3 * 3}{10,8} = 5,64 \text{ г/см}^3$$

В данном случае разноплотность составляет 9% (<15%).

$$h_{зн} = \frac{6,21 * 60,9}{3} = 126,1 \text{ мм (общая высота свободной засыпки)}$$

$$h_{верх} = \frac{6,21 * 9,8}{3} = 20,3 \text{ мм}$$

$$h_{нижн} = 126,1 - 20,3 = 105,8 \text{ мм}$$

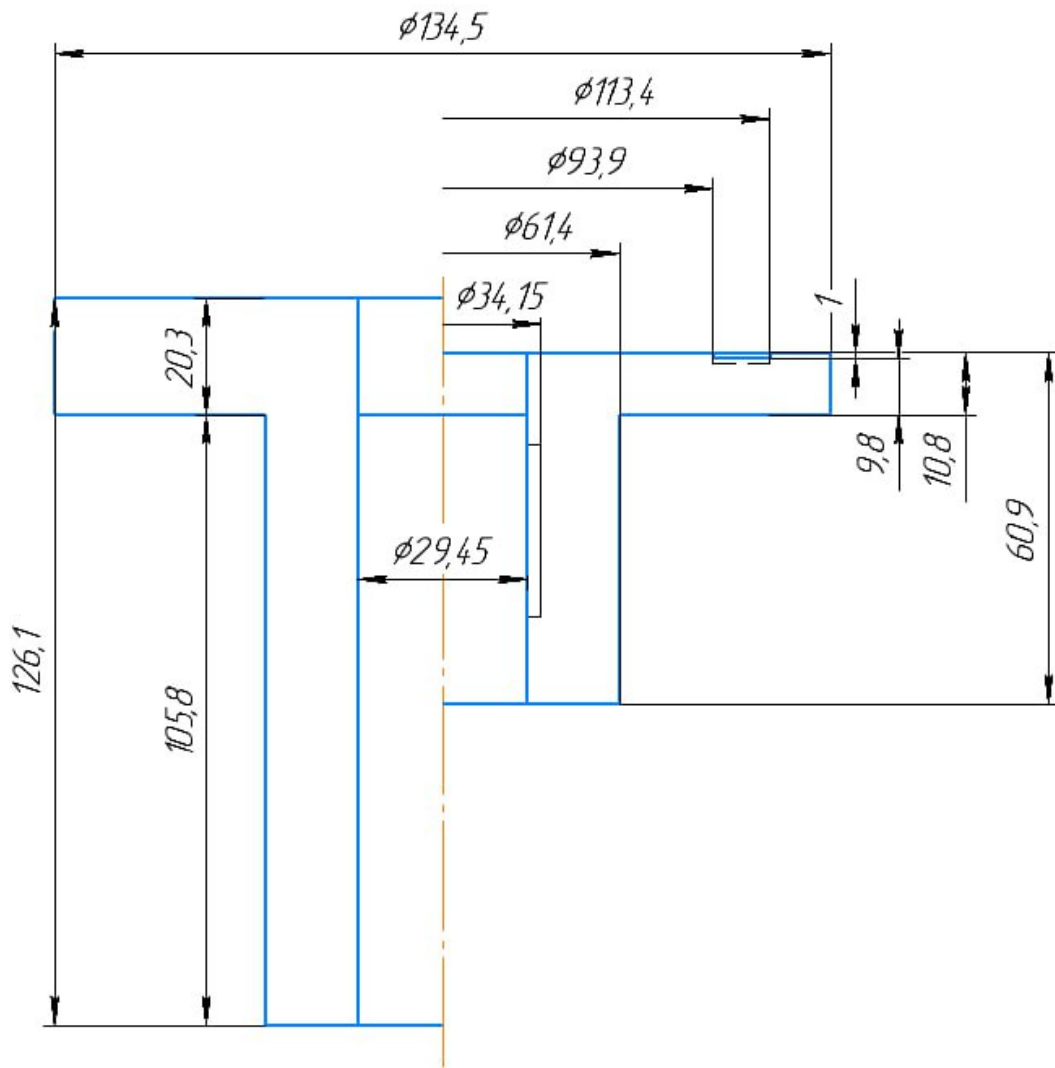


Рис. 3 - Размеры заготовки перед спеканием и размеры засыпки порошка в пресс-форме.

4. Прочностной и жесткостной расчет пресс-формы

4.1 Расчет матриц на прочность.

При расчете прочности матриц рассматриваются два случая:

- давление на внешнюю матрицу;
- давление на внешний нижний пуансон со стороны втулки (1).

$$\sigma_r = \frac{67,25^2}{134,5^2 - 67,25^2} \cdot \left(1 - \frac{134,5^2}{67,25^2}\right) \cdot 280 = -280 \text{ МПа}$$

$$\sigma_\theta = \frac{67,25^2}{134,5^2 - 67,25^2} \cdot \left(1 + \frac{134,5^2}{67,25^2}\right) \cdot 280 = 467 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_{\theta} - \sigma_r < [\sigma] = 1000-1200 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 467 - (-280) = 747 \text{ МПа} < [\sigma]$$

$$\sigma_{r1} = \frac{30,7^2}{61,4^2 - 30,7^2} \cdot \left(1 - \frac{61,4^2}{30,7^2}\right) \cdot 280 = -140 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\theta1} = \frac{30,7^2}{61,4^2 - 30,7^2} \cdot \left(1 + \frac{61,4^2}{30,7^2}\right) \cdot 280 = 233,34 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ1}} = \sigma_{\theta1} - \sigma_{r1} < [\sigma] = 1000-1200 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ1}} = 467 - (-280) = 747 \text{ МПа} < [\sigma]$$

4.2. Расчет пуансонов на сжатие и изгиб

Расчет пуансонов на потерю устойчивости.

Критическая сила изгиба пуансона определяется по следующей формуле.

$$P_k = (2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{\min}) / l^2$$

где l - длина свободной части пуансона, м (равна расстоянию от пуансонодержателя до середины заходной части пуансона);

J_{\min} - минимальный момент инерции сечения пуансона м.

$J_{\min} = 0,1 \cdot (D_{\text{нар}}^4 - D_{\text{ст}}^4)$, где $D_{\text{ст}}$ и $D_{\text{нар}}$ - диаметры стержня (детали) и наружный диаметр пуансона соответственно.

$$l_1 = 231,1 \text{ мм} = 0,2311 \text{ м}$$

$$D_{\text{ст}} = 29,45 = 0,02945 \text{ м}$$

$$D_{\text{нар1}} = 61,4 \text{ мм} = 0,0614 \text{ м}$$

$$P_{k1} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 215 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot (0,0614^4 - 0,02945^4)}{0,2311^2} = 107 \text{ МН}$$

$$P1 = 11,25 \cdot 800 = 9 \text{ МН}$$

$$l_2 = 326,1 \text{ мм} = 0,3261 \text{ м}$$

$$D_{cm} = 29,45 = 0,02945 \text{ м}$$

$$D_{нар2} = 134,5 \text{ мм} = 0,1345 \text{ м}$$

$$P_{к2} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 215 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot (0,1345^4 - 0,02945^4)}{0,3261^2} = 125 \text{ МН}$$

$$P_2 = 2,28 \cdot 800 = 1,82 \text{ МН}$$

4.3. Геометрия пресс-форм.

На рисунке 5 представлены чертежи пресс-форм для прессования внешних фланцев.

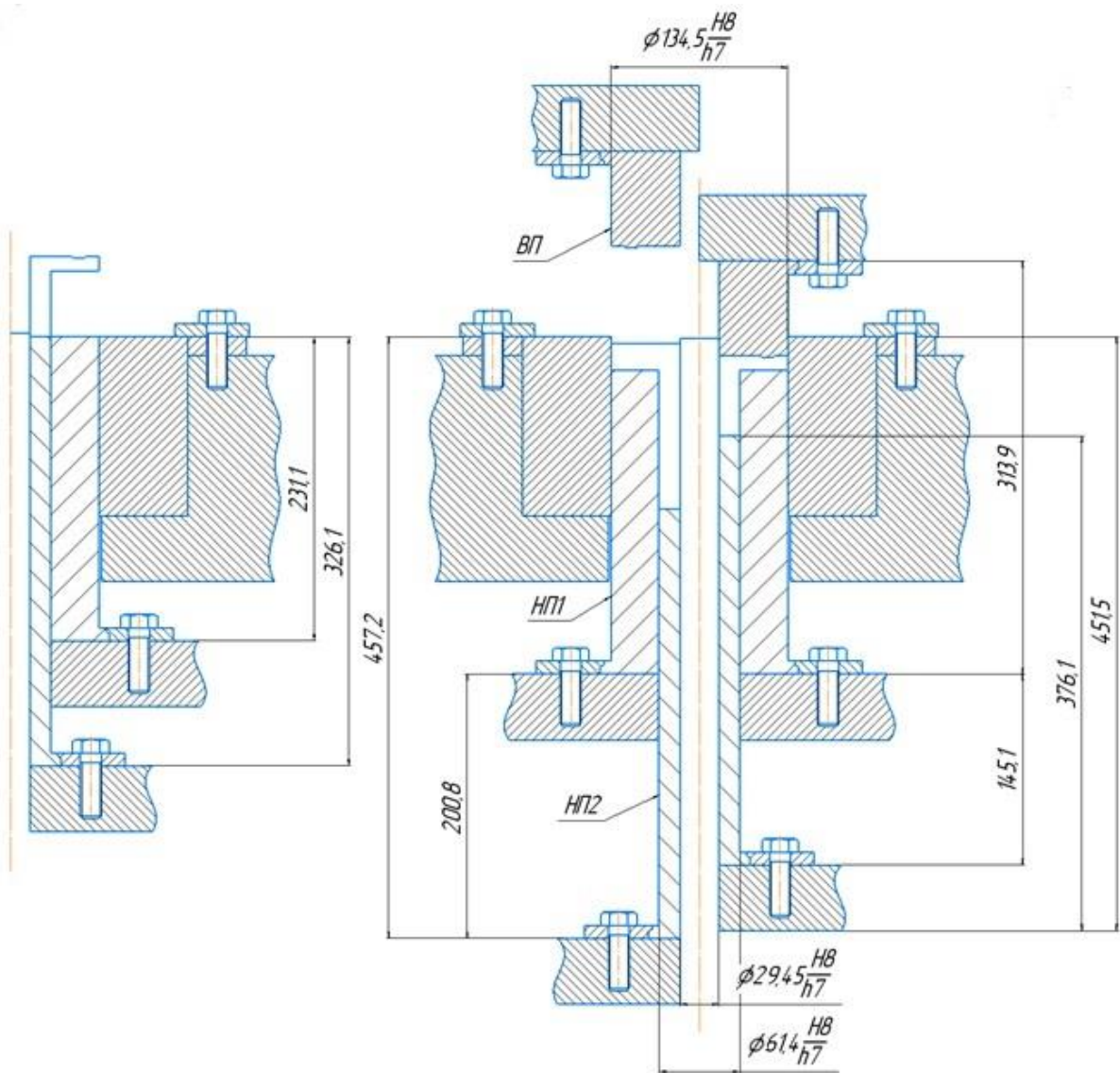


Рис. 4 - Пресс-форма для прессования внешних фланцев (схема выпрессовки, засыпка и прессовка)

4.3. Циклограмма работы пресс-формы.

На рис.5 представлена циклограмма работы пресс-формы.

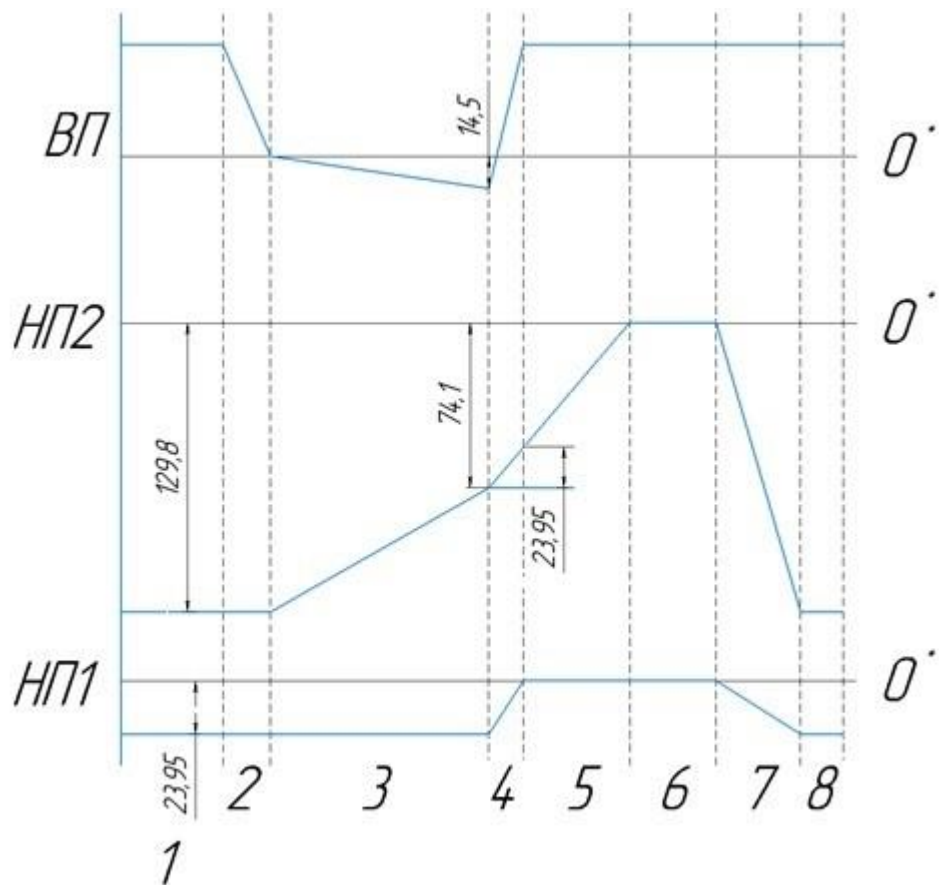


Рис. 5- Циклограмма работы пресс-формы.

где:

1-засыпка порошка;

2-подвод верхнего пуансона (ВП) к позиции начала прессования;

3-рабочий ход, прессование;

4-отвод ВП в верхнее положение, выпрессовка;

5-завершение выпрессовки;

6-снятие выпрессовки;

7-отвод нижнего пунсона (НП) в положение засыпки порошка;

8-засыпка порошка;

*-нулевой отметкой является верхний торец матрицы;

Приложение 3

Пример расчета пресс-формы для прессования внутреннего фланца.

Назначение напусков и припусков

На рис. 1 представлен чертеж готовой детали с указанием шероховатостей.

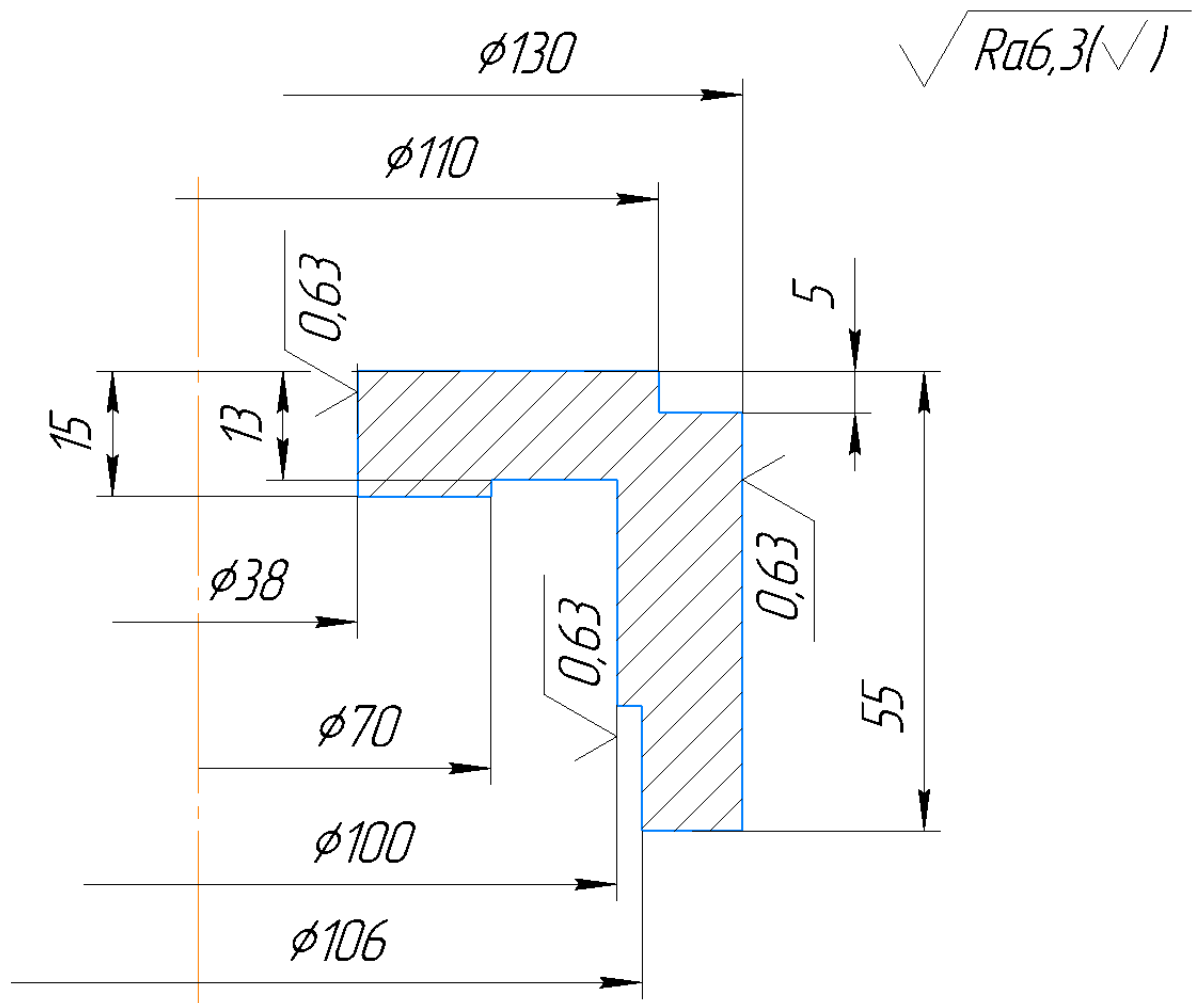


Рисунок 1 - Чертеж детали типа фланца

Для шероховатости $R_a=0,63$ выбираем припуск 0,5 мм, всех остальных поверхностей припуск составляет 0,2 мм.

$$\phi 38: 38-2*0,5=37 \text{ мм}$$

$$\phi 70: 70+2*0,2=70,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 100: 100-2*0,5=99 \text{ мм}$$

$$\varnothing 106: 106-2*0,2=105,6 \text{ мм}$$

$$\varnothing 110: 110+2*0,2=110,4 \text{ мм}$$

$$\varnothing 130: 130+2*0,5=131 \text{ мм}$$

$$H55: 55+2*0,2=55,4 \text{ мм}$$

$$H15: 15+2*0,2= 15,4\text{мм}$$

$$H13: 13+2*0,2=13,4 \text{ мм}$$

Технология и схема прессования детали.

В качестве технологии изготовления детали выбираем следующую, в соответствии с таблицей технологических процессов А+М=(холодное прессование+спекание)+(механическая обработка). Выбираем схему прессования два независимых пуансона снизу и один сверху.

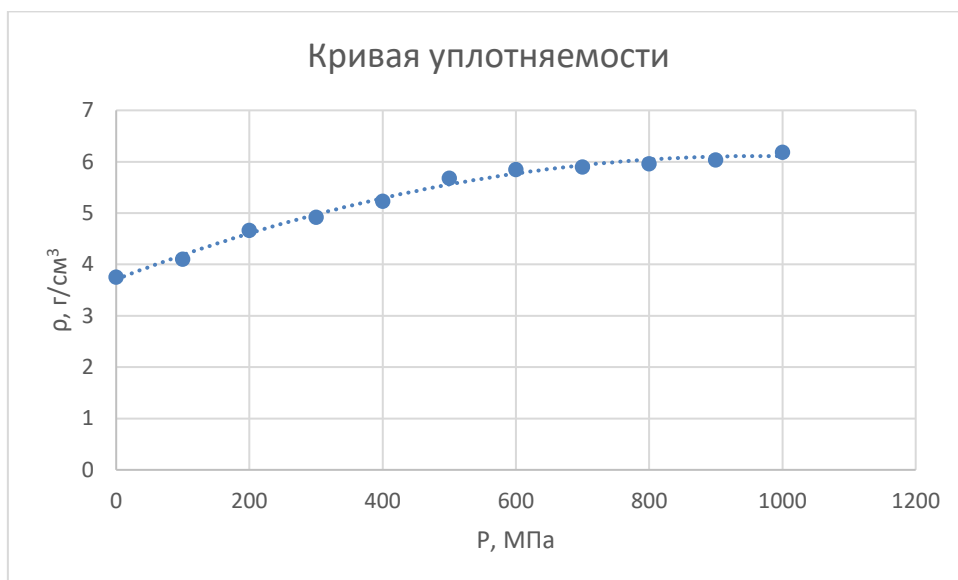


Рисунок 2 - Зависимость плотности изделия от давления прессования.

$$\rho_0 \cdot h_n = \rho_1 \cdot h_{n1}; \rho_0 = 3,75 \text{ г/см}^3 \text{ для смеси Fe 93\% C 7\%. } \rho_1 = 5,96 \text{ г/см}^3 \text{ при 800 МПа}$$

Усадка при спекании

Полученное в результате прессования изделие проходит операцию спекания. Вследствие объемных деформаций материала при спекании происходит усадка или рост объема, в зависимости от химического состава порошка. Следует иметь в виду, что величина объемных деформаций и их распределение в изделии зависит от распределения плотности после прессования и схемы прессования. Неравномерность плотности является одной из основных причин коробления изделий после спекания.

В нашем случае усадка в горизонтальном и вертикальном направлении различна.

$$K_B=1,008; K_T=1,016$$

$$\emptyset 38: 37*1,016=37,6$$

$$\emptyset 70: 70,4*1,016=71,55$$

$$\emptyset 100: 99*1,016=100,6$$

$$\emptyset 106: 105,6*1,016=107,3$$

$$\emptyset 110: 110,4*1,016=112,5$$

$$\emptyset 130: 131*1,016=133$$

$$H55: 55,4 *1,008=55,85$$

$$H15: 15,4*1,008=15,55$$

$$H13: 13,4 *1,008=13,5$$

Расчёт высоты засыпки

На рис. 3 представлены размеры заготовки перед спеканием и размеры объема засыпки порошка в пресс-форму

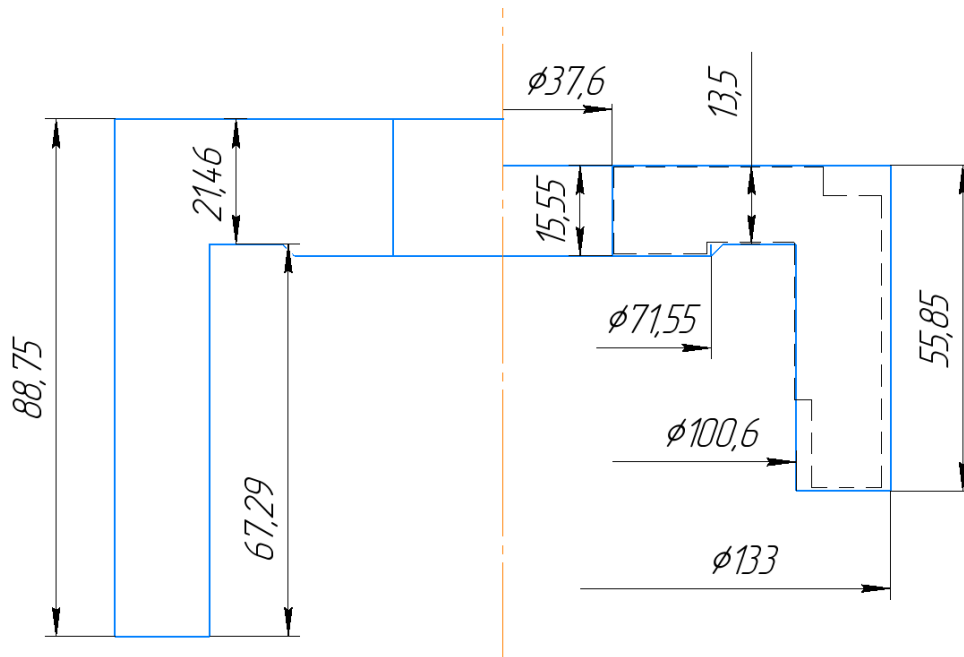


Рисунок 3 - Размеры заготовки перед спеканием и размеры объема засыпки порошка в пресс-форму.

$$P_{\text{пресс}}=800 \text{ МПа}; \rho_k=5,96 \text{ г/см}^3; \rho_0=3,75 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_k/\rho_0=h_0/h_k$$

$$h_k=5,96 \cdot 55,85 / 3,75 = 88,75 \text{ мм}$$

$$h_{\text{верх}}=5,96 \cdot 13,5 / 3,75 = 21,46 \text{ мм}$$

$$h_{\text{нижн}}=88,75 - 21,46 = 67,29 \text{ мм}$$

Расчет напусков на выступ на фланце по условию разноплотности.

Заданная разноплотность между элементами фланца составляет 15%.

$$\rho_{k1,2} = \frac{h_{H,H1} * \rho_{\text{нас}}}{h_{k1,2}}$$

$$\rho_{k2} = \frac{h_n * \rho_{\text{нас}}}{h_{k2}} = \frac{23,51 * 3,75}{15,55} = 5,67 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_{k1} = \frac{h_{n1} * \rho_{нас}}{h_{k1}} = \frac{21,46 * 3,75}{13,5} = 5,96 \text{ г/см}^3$$

Разница плотностей составила:

$$\frac{5,96 - 5,67}{5,96} * 100\% = 4,9\%$$

Разница составляет: 4,9%, что меньше заданной разноплотности, а значит напуск назначать не нужно.

Прочностной и жесткостной расчёт пресс-формы

Расчет матриц на прочность.

При расчете прочности матриц рассматриваются два случая: давление на внешнюю матрицу и на внешний нижний пуансон со стороны втулки.

$$\sigma_r = \frac{66,5^2}{133^2 - 66,5^2} \cdot \left(1 - \frac{133^2}{66,5^2}\right) \cdot 320 = -320 \text{ МПа}$$

$$\sigma_\theta = \frac{66,5^2}{133^2 - 66,5^2} \cdot \left(1 + \frac{133^2}{66,5^2}\right) \cdot 320 = 533,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{экв} = \sigma_\theta - \sigma_r < [\sigma] = 1000-1200 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{экв} = 533,3 - (-310) = 843,3 \text{ МПа} < [\sigma]$$

Расчет пуансонов на сжатие и изгиб

Расчет пуансонов на потерю устойчивости.

Критическая сила изгиба пуансона определяется по следующей формуле:

$P_k = (2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{\min}) / L^2$, где L - длина свободной части пуансона, м (равна расстоянию от пуансонодержателя до середины заходной части пуансона);

J_{\min} - минимальный момент инерции сечения пуансона, м.

$$J_{\min} = 0,1 \cdot (D_{нар}^4 - D_{ст}^4), \text{ где } D_{ст} \text{ и } D_{нар} - \text{ диаметры}$$

стержня (детали) и наружный диаметр пуансона соответственно.

L=344

$$P_k = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 215 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot (0,1006^4 - 0,0376^4)}{0,344^2} = 360 \text{ МН}$$

$$S_{\text{ноб}} = \pi \times (R_2^2 - R_1^2)$$

$$S_{\text{ноб}} = 3,14 \times (66,5^2 - 18,8^2) = 12782,5 \text{ мм}^2$$

$$F = P \cdot S_{\text{пов-ти}} = 800 \cdot 12782,5 = 10,2 \text{ МН}$$

L=181

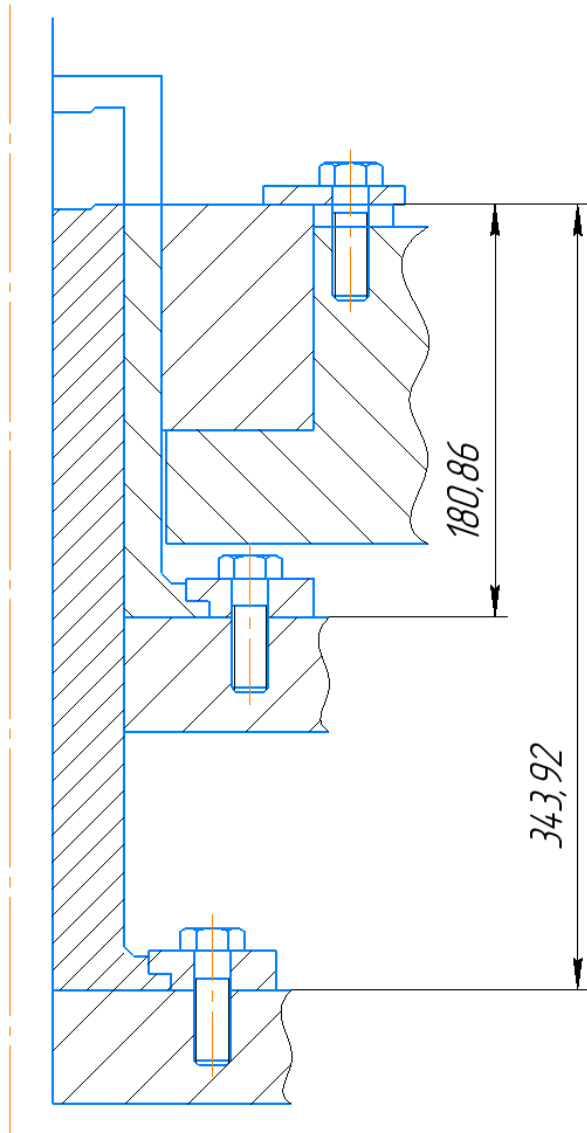
$$P_k = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 215 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot (0,133^4 - 0,1006^4)}{0,181^2} = 2727 \text{ МН}$$

$$S_{\text{ноб}} = \pi \times (R_2^2 - R_1^2)$$

$$S_{\text{ноб}} = 3,14 \times (66,5^2 - 50,3^2) = 5944,4 \text{ мм}^2$$

$$F = P \cdot S_{\text{пов-ти}} = 800 \cdot 5944,4 = 4,76 \text{ МН}$$

Геометрия пресс-формы



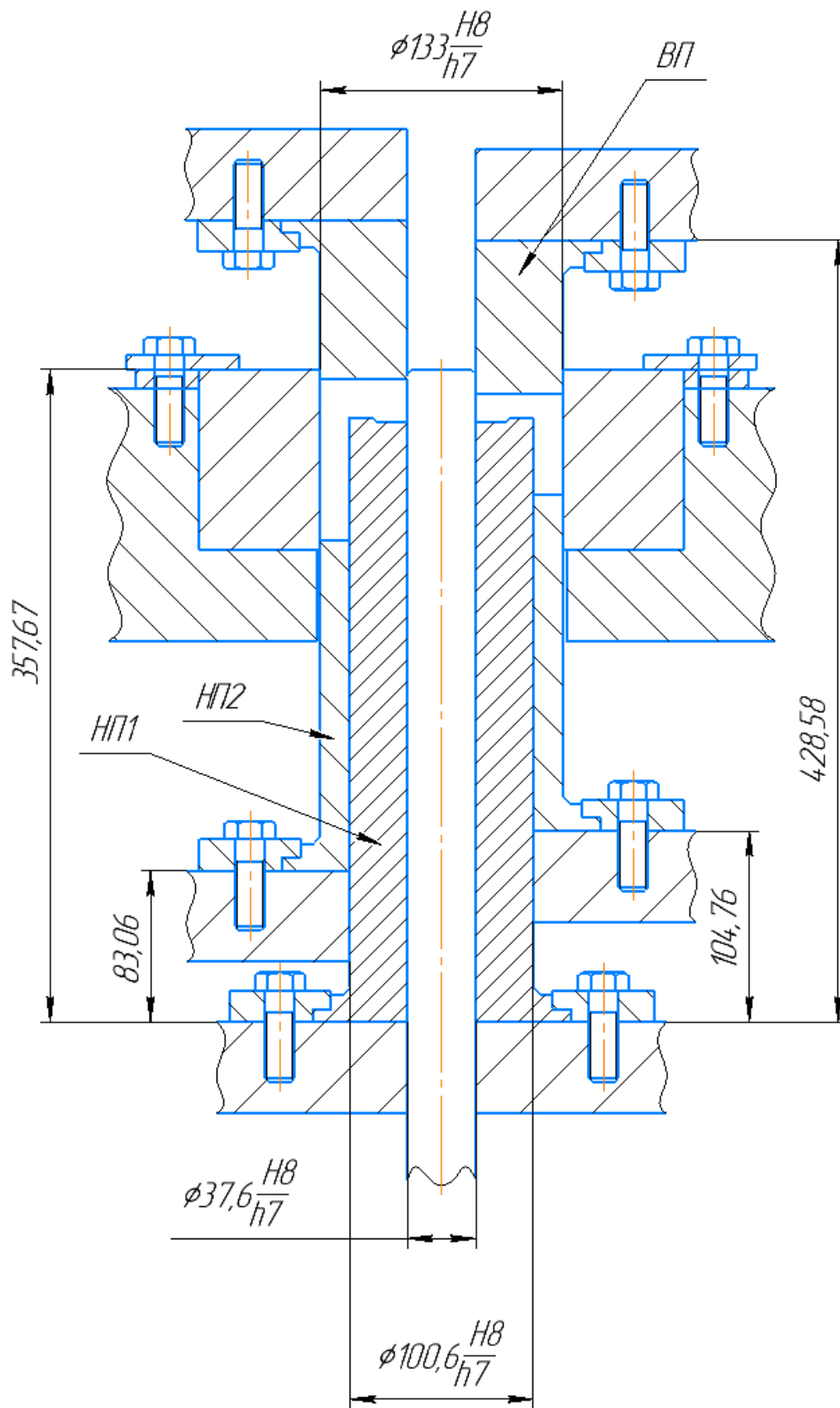
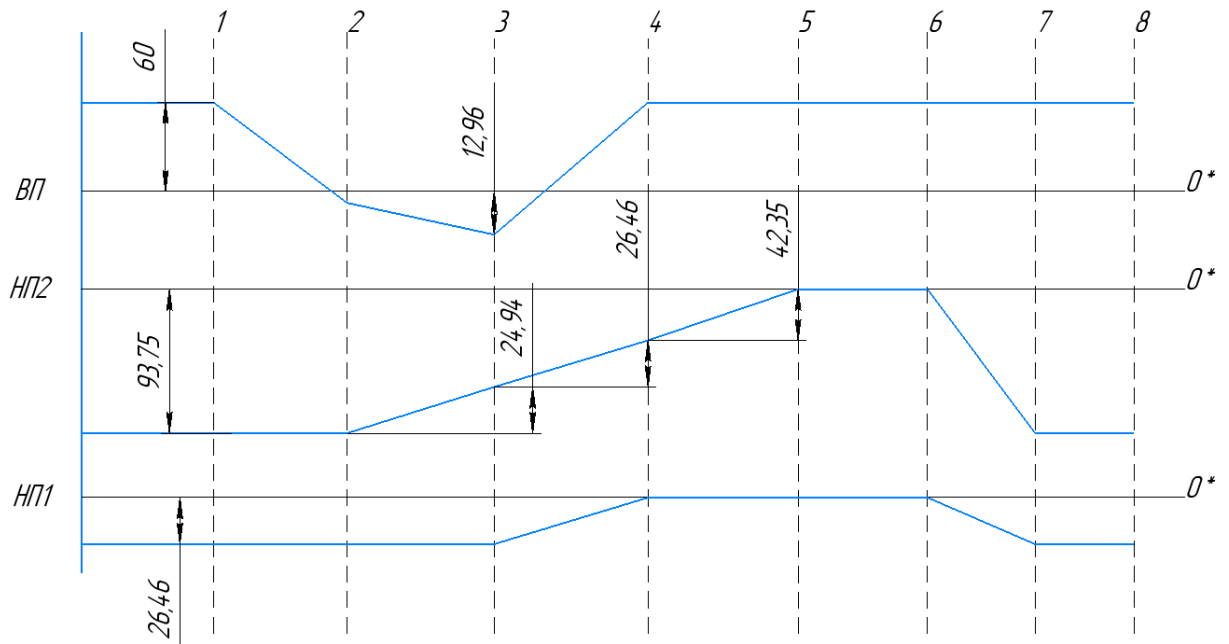


Рис.4 Пресс-форма для прессования внутренних фланцев.

Циклограмма работы пресс-формы



1. Засыпка порошка
2. Подвод верхнего пунсона к позиции начала прессования
3. Рабочий ход, прессование
4. Отвод ВП в верхнее положение, выпрессовка
5. Завершение выпрессовки
6. Снятие прессовки
7. Отвод НП1 и НП2 в положение засыпки порошка
8. Засыпка порошка
9. * – нулевой отметкой является торец матрицы