

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт машиностроения, материалов и транспорта

Работа допущена к защите

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ С.В. Ганин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

дипломная работа

**Проектирование пресс-формы для модернизации и оптимизации  
процесса получения составных ветвей термоэлектрических материалов  
методом одностороннего прессования в замкнутой матрице для  
дальнейшего производства термоэлектрических преобразователей  
энергии**

по направлению подготовки (специальности)

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Направленность (профиль)

22.03.01\_01 Материаловедение и технологии новых материалов

Выполнил  
студент гр. 3332201/60101

А.Д. Пожарнов

Руководитель  
профессор,  
д.т.н.

А.М. Золотов

Консультант  
по нормоконтролю

Р.А. Паршиков

Санкт-Петербург

2020

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА  
ВЕЛИКОГО**

**Институт машиностроения, материалов и транспорта**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

Ганин С.В.

« 16 » июня 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

**по выполнению выпускной квалификационной работы**

студенту Пожарнову Артему Дмитриевичу, группа  
3332201/60101

1. Тема работы: Проектирование пресс-формы для модернизации и оптимизации процесса получения составных ветвей термоэлектрических материалов методом одностороннего прессования
2. Срок сдачи студентом законченной работы: 16 июня 2020
3. Исходные данные по работе: Результаты преддипломной практики, Научно-техническая литература по теме ВКР
4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):
  - 4.1 Постановка задачи Конструкция термоэлементов и ее особенности
  - 4.2 Технология холодного прессования сборок термоэлементов
  - 4.3 Технология горячего прессования порошков.
  - 4.4 Модернизация конструкции прессформы.
  - 4.5 Заключение.
5. Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей):
  - 5.1 Конструкция сборок термоэлементов.
  - 5.2 Технология холодного прессования сборок.
  - 5.3 Проблемы при прессовании сборок
  - 5.4 Новая конструкция прессформы
6. Консультанты по работе:

Нормоконтроль: Паршиков Руслан Александрович
7. Дата выдачи задания: 9 февраля 2020

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ Золотов А.М

Задание принял к исполнению 10 февраля 2020

Студент \_\_\_\_\_ Пожарнов А.Д.

## РЕФЕРАТ

На 34 с., 19 рисунков, 2 таблицы

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ХОЛОДНОЕ ОДНОСТОРОННЕЕ ПРЕССОВАНИЕ, ТЕРМОЭЛЕМЕНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, ПРЕСС-ФОРМА, МАТРИЦА, ПУАНСОН, ВЫСОТА ЗАСЫПКИ.

Тема выпускной квалификационной работы: «Проектирование пресс-формы для модернизации и оптимизации процесса получения составных ветвей термоэлектрических материалов методом одностороннего прессования в замкнутой матрице для дальнейшего производства термоэлектрических преобразователей энергии».

Целью данной работы является модернизация пресс-формы для получения термоэлементов из порошковых материалов разн. марки.

Задачи, которые решались в ходе исследования:

1. Определить плотность утряски и плотность при давлении 200 МПа для всех марок металла в термоэлементе.
2. Поиск способа модернизации пресс-формы, для улучшения качества и стабильности прессования термоэлемента.

Во время работы были найдены нужные плотности, с помощью диаграмм уплотняемости данных материалов и нужные данные занесены в таблицу для удобства работы с ними. Эти данные помогли в дальнейшей работе по модернизации пресс-формы.

В результате было получено 2 способа модернизации процесса прессования термоэлемента. В первом способе использовались проставки, что позволило улучшить равномерность слоев засыпки и прессованного элемента. А во втором способе было решено прессовать термоэлемент по частям, что улучшило равномерность, но также уменьшило разн. плотность ветвей и общего основания термоэлемента.

## ABSTRACT

34pages, 21 figures, 2 tables

**KEYWORDS:** COLD SIDED PRESSING, THE THERMOCOUPLE, MODERNIZATSIA, MOLD, MATRIX, PUNCH, THE HEIGHT OF BACKFILL.

The subject of the graduate qualification work is: "design of a mold for modernization and optimization of the process of obtaining composite branches of thermoelectric materials by one-way pressing in a closed matrix for further production of thermoelectric energy converters".

The aim of this work is to modernize the mold for obtaining thermoelements from powder materials of different brands.

The research set the following goals:

1. Determine the settling density and density at a pressure of 200mpa for all metal grades in the thermoelement.
2. Search for a way to modernize the mold, to improve the quality and stability of pressing the thermoelement.

During the work, the necessary densities were found, using compaction diagrams of these materials, and the necessary data is entered in the table for ease of working with them. This data helped in further work on the modernization of the mold.

As a result, we obtained 2 ways to modernize the thermoelement pressing process. In the first method, spacers were used, which allowed to improve the uniformity of the backfill layers and the pressed element. And in the second method, it was decided to press the thermoelement in parts, which also improved the uniformity, but also reduced the different density of branches and the common base of the thermoelement.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
Глава 1. ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ .....	8
Глава 2. ТЕРМОЭЛЕМЕНТ .....	14
Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМЫ .....	16
3.1 Расчет высоты засыпки .....	16
3.2 Расчет бокового давления .....	17
3.3 Расчет матрицы на прочность и жесткость .....	18
3.4 Расчет пуансонов на сжатие .....	19
Глава 4. СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРЕСС-ФОРМЫ .....	20
4.1 Внедрения проставок в пресс-форму .....	20
4.2 Второй вариант модернизации пресс-формы .....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	34

## ВВЕДЕНИЕ

Конвертация тепловой энергии в электрическую и наоборот с помощью термоэлектрических преобразователей остается крайне важной и перспективной сферой науки и техники. Обладая уникальным сочетанием конструктивных и эксплуатационных характеристик (прямое преобразование энергии, отсутствие движущихся частей, бесшумность, автономность и долговечность работы), эти устройства уже положительно зарекомендовали себя как в областях, связанных с военно-промышленным комплексом, так и в повседневной жизни.

Одним из главных конкурентных преимуществ при производстве термоэлектрических преобразователей энергии является получение качественных термоэлектрических материалов (далее ТЭМ). Наибольшего внимания в промышленных масштабах изготовления ТЭМ добились прессование в замкнутой матрице, экструзия и зонная плавка, относящаяся к группе методов направленной кристаллизации[1].

Разработка изделий из порошковых материалов связана с формованием. На этой стадии дисперсное, сыпучее тело приобретает свойства твердого. Для проведения операции формования применяют различные инструменты: пресс-формы, которые устанавливают на прессах, экструдеры инжекционных и иных установок, прокатные валки станов для получения лент и листов. Все группы инструментов характеризуются определенными требованиями к поверхности, прочности и долговечности[2].

Прессование в замкнутой матрице позволяет получать ветви термоэлементов различной геометрической формы и с точно заданными размерами. В данном случае рассматривается процесс холодного одностороннего прессования в замкнутой матрице составной ветви p-n материалов, разделенных диэлектриком.

Вследствие составного вида ветвей имеется место ряд технологических проблем, связанных с неравномерной засыпкой слоев, особенно тонких, что

приводит к уменьшению как термоэлектрических, так и механических свойств готового изделия. На данный момент засыпка ведется следующим образом: оператор слой за слоем в заданном порядке засыпает материалы в собранную матрицу через воронку, ограничивая объем верхним пуансоном и обстукивая его и матрицу киянкой для выравнивания слоя. После засыпки следует холодное прессование с выдержкой при ограничении давления прессования. Получаемые элементы вследствие неравномерности засыпки и ряда других причин могут получаться разновысотными, что привело к введению трудоемкой технологической операции по геометрическому контролю элементов.

Целью данной работы является проектирование пресс-формы для модернизации и оптимизации процесса получения составных ветвей термоэлектрических материалов методом одностороннего прессования в замкнутой матрице.

Основная идея заключается в введении в конструкцию подвижной матрицы, что позволит засыпать ряд нижних тонких слоев материалов вровень с матрицей во избежание неравномерности. После такой засыпки, используя ограничительные кольца, оператор сможет поднять матрицу по отношению к нижнему пуансону для дальнейших операций. Подобное нововведение позволит также выпрессовывать готовый образец из матрицы. Помимо этого, обоснованным видится модификация верхних пуансонов с целью ограничения процесса не давлением прессования, а ходом пуансонов, что позволит получать образцы одинаковой высоты.

## **Глава 1. ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ**

Пресс-форма для прессования порошковых материалов должна обеспечивать необходимую точность размеров изделий, иметь высокую прочность и высокую жесткость для предотвращения образования дефектов в прессовках и избыточного износа инструмента. Также пресс-форма должна обладать высокой поверхностной твердостью, чтобы препятствовать износу, обеспечивать высокую точность размеров и чистоту поверхности изделия, обеспечивать высокую производительность и быть долговечной в работе.

Прессование изделий из порошков осуществляется в пресс-формах, произведённых из высокопрочных инструментальных сталей. Пресс-формы для прессования металлических порошков могут быть классифицированы следующим образом[2]:

- 1) эксплуатационные особенности (стационарные и съемные);
- 2) принцип заполнения порошком полости матрицы (с объемной и весовой дозировкой);
- 3) способ прессования (одностороннее и двухстороннее);
- 4) конструкция матрицы (со сплошной и разъемной матрицей);
- 5) количество гнезд (одно- и многогнездовые);
- 6) род применяемых прессов (специализированные и неспециализированные);
- 7) метод прессования (ручной, полуавтоматический и автоматический);
- 8) количество слоев в прессуемой детали (однослойные и многослойные);
- 9) конструкции, зависящие от формы и размеров изготавливаемых деталей.

Стационарные пресс-формы обладают высокой производительностью и применяются при прессовании изделий на автоматических прессах. Обычно, такие пресс-формы неразборные, с неразъемной матрицей.



При ручном прессовании используются съемные пресс-формы. Иногда их производят разборными с разъемной матрицей. В таком случае исключается операция выпрессовки изделия из матрицы и, соответственно, исключаются сопутствующие ей отрицательные эффекты. Но такие пресс-формы менее производительны.

Главными частями пресс-формы являются матрица, пуансоны и стержни. Также в комплект деталей, как обойма, подставки, выталкиватели и др.

Матрица служит для получения требуемой наружной боковой поверхности прессовки. Конструкция матрицы (рисунок 1) определяется формой изделия, давлением прессования, частью которого она воспринимает при работе, материалом, применяемым при ее изготовлении[3].

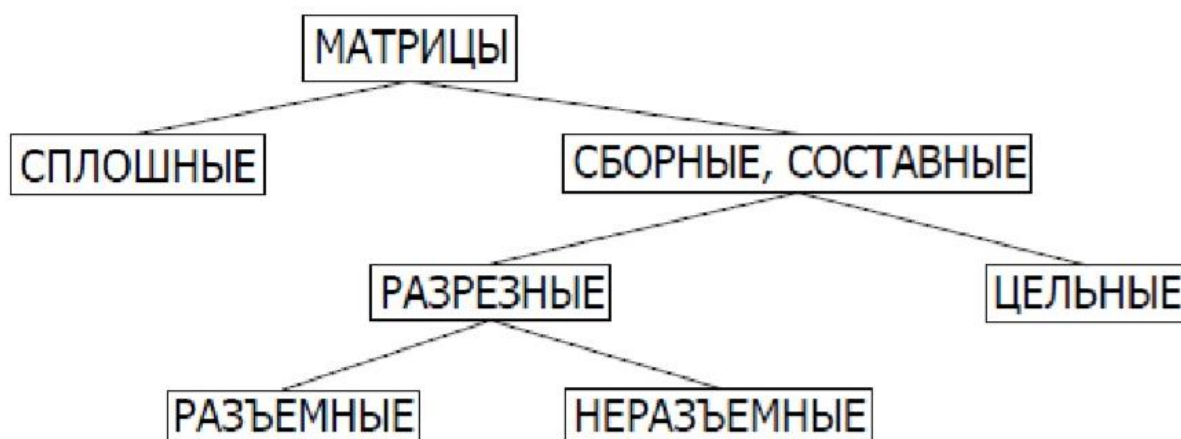


Рисунок 1. – Классификация матриц

Сплошные матрицы (рисунок 2, а) применяются при небольших нагрузках, составные цельные матрицы (рисунок 2, б) – при больших и при необходимости обеспечить высокую жесткость конструкции[3].

Матрицы, которые состоят из нескольких отдельных частей называют сборными (рисунок 2, в–е). Использование сборных матриц обуславливается сложной формой прессуемого изделия. Достоинством сборной матрицы является то, что при износе внутренней поверхности ее можно отремонтировать путем перешлифовки секций.

На всех матрицах рекомендуется делать выходную кромку её рабочей поверхности с фаской под углом  $15^\circ$  на длине 1...2 мм или скругление с радиусом 1 мм.

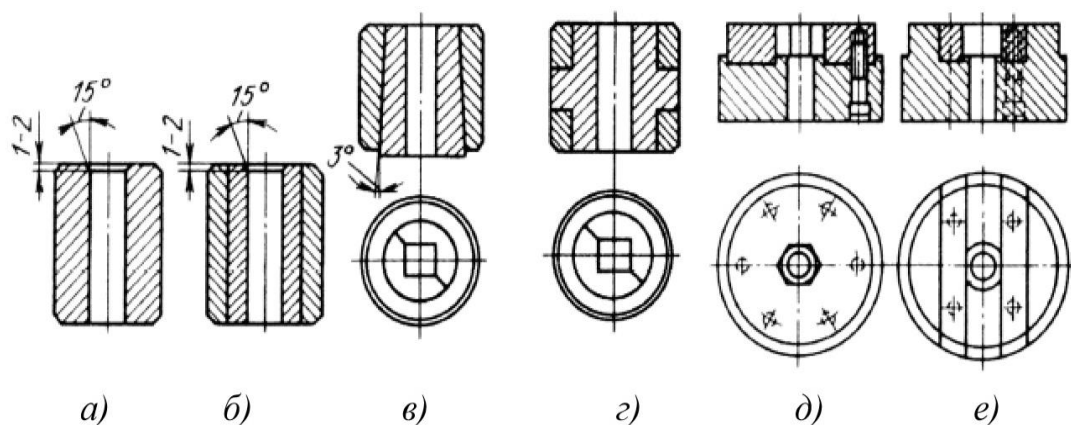


Рисунок 2. – Виды матриц для холодного прессования порошков

На получения изделий более высокого качества большое влияние оказывает присутствие конических рабочих поверхностей на матрицах и стержнях. При их отсутствии упругое последствие окажет отрицательный эффект на нашей прессовке, а именно образование поперечных трещин на прессовке в момент её извлечения из матрицы. Также такие поверхности на матрице и стержне несколько снижают усилие выпрессовки изделия, на нагрузку на стержни. Но в то же время, они снижают износостойкость инструмента из-за дополнительного трения порошка о стенки матрицы и поверхность стержня.

Исходя из рекомендаций, высоту конусной части матрицы следует выбирать, исходя из высоты детали и схемы прессования. Максимальный диаметр конусной части матрицы превышает диаметр прессовки не более, чем на 1 %.

Твердосплавные матрицы, работающие на растяжение, мало деформируются и их обязательно стягивают одной или двумя стальными обоймами.

Расчет матриц сводится к определению высоты, технологического размера отверстия и к проверке матрицы на прочность и жесткость. Размеры рабочей полости матрицы зависят от вида прессуемого материала, размеров прессуемого изделия и его конечной плотности, последующих операций, влияющих на размер спрессованного изделия (допрессовки и калибровки), а также от припуска на механообработку, если она имеется. По найденным размерам изделия на всех промежуточных стадиях технологического процесса рассчитываются окончательные размеры матрицы и проектируется прессовый инструмент[3].

Исходными данными для расчета матриц являются:

- 1) размеры готового изделия и отклонения на них;
- 2) плотность готового изделия;
- 3) упругие последствия после прессования по линейным размерам;
- 4) усадка при спекании по линейным размерам;
- 5) припуск на калибровку по линейным размерам;
- 6) упругое последствие после калибровки по линейным размерам;
- 7) упругая деформация матрицы;
- 8) припуски на механообработку готовой детали.

Пуансоны создают нагрузку на порошок и формируют торцевые поверхности изделия. В Сплошных пресс-формах спрессованное изделие выпрессовывается из матрицы при помощи пуансона или выталкивателей, в разборных матрицах изделие извлекают после разборки пресс-формы. В момент прессования пуансоны подвергаются действию сжимающих нагрузок. Поэтому при конструировании пуансонов нужно максимально уменьшать их длину. Это сделает их более устойчивыми и обеспечит более высокую жесткость. Площадь опорной поверхности пуансонов желательно делать в 1,5...2 раза больше площади рабочего торца, что необходимо для предотвращения смятия подкладных плит.

Рабочие пояски пуансонов обеспечивают центрирование пуансонов по матрице и стержню. Поэтому их подгоняют и шлифуют с минимально

допустимым зазором между ними и матрицей или стержнем. Размеры остальной профильной части пуансона занижают на 0,1...0,5 мм на сторону для отвода порошка, проникающего в зазор во время прессования.

Различают верхние и нижние пуансоны. Принципы их конструирования несколько различаются. Рабочие пояски верхних пуансонов делают достаточно большими (15...20 мм) как снаружи, так и изнутри. Это необходимо для перешлифовки рабочего торца пуансона в случае закругления рабочей кромки в процессе прессования[2].

Рабочие пояски нижних пуансонов делают минимально необходимыми, чтобы максимально уменьшить трение о стенки матрицы. Профильную часть пуансона выполняют длинной, превышающей длину матрицы на 5...10 мм. Нижние пуансоны имеют возможность немного перемещаться в пуансонодержателе, что необходимо для их самоцентрировки по матрице.

Стержни необходимы для формирования внутренней части прессовки. Заходная часть стержней оформляется фаской под углом  $15^\circ$  на длине 1...2 мм или радиусом 1 мм.

Расчет стержней, как и матриц, заключается в определении их технологических размеров. Размеры стержня зависят от размеров формуемого изделия, изменения размера в процессе изготовления изделия (упругие последствия, рост или усадка при спекании) и принимаются максимально возможными, чтобы обеспечить наибольший припуск на износ стержня.

Расчет пресс-форм начинается с выбора направления прессования детали. При этом необходимо руководствоваться следующим правилом:

- 1) для деталей, имеющих ось вращения, усилие прессования должно быть направлено вдоль этой оси;
- 2) для деталей, не имеющих оси вращения, усилие прессования должно быть направлено так, чтобы в этом направлении деталь имела наименьшее число переходов.

Затем составляется эскизная схема прессования, которая должна включать операции заполнения полости пресс-формы порошком, прессования и выталкивания спрессованной формовки.

После определения схемы применения необходимо выбрать материал основных деталей пресс-формы, и только после этого выполнить расчеты на жесткость и прочность основных деталей и сконструировать пресс-форму[2].

## Глава 2. ТЕРМОЭЛЕМЕНТ

Термоэлемент - это электронное устройство, преобразующее тепловую энергию в электрическую. Он состоит из нескольких термопар, соединенных обычно последовательно или, реже, параллельно. Такое устройство работает по принципу термоэлектрического эффекта, т. е. генерирует напряжение, когда его разнородные металлы (термопары) подвергаются воздействию разности температур[1].

Термопара - это электрическое устройство, состоящее из двух разнородных электрических проводников, образующих электрический переход. Термопары работают путем измерения перепада температур от точки их соединения до точки, в которой измеряется выходное напряжение термопары. Как только замкнутая цепь состоит из нескольких металлов и существует разница в температуре между переходами и точками перехода от одного металла к другому, возникает ток, как будто он генерируется разностью потенциалов между горячим и холодным переходами. На рисунке 3 представлено схематическое изображение термоэлемента с условным расположением слоев различных материалов

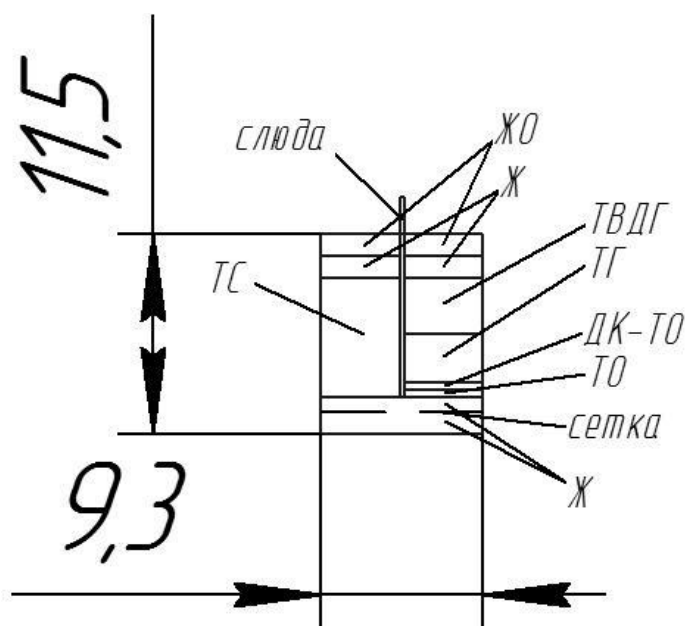


Рисунок 3. - Схематическое изображение термоэлемента

Поскольку энергия, получаемая от одной термопары, очень мала, массивы термопар должны использоваться для создания термоэлектрических устройств, способных передавать практические объемы энергии. Более мощные устройства могут быть изготовлены путем последовательного подключения термопар для увеличения мощности напряжения и параллельно для увеличения мощности тока. Такой массив термопар называется термобатарей[1].

Основными частями термоэлемента являются: термоэлектрические материалы п-и р-типов проводимости (ТГ, ТВДГ, ТС и др.), проводящие слои железа (Ж) и смеси железа с оловом (ЖО), железная сетка и пластинка слюды.

Высота термоэлемента выбрана исходя из кривых уплотняемости для каждого материала, представленных ниже, и является величиной переменной, т.е. допустимой к изменению в процессе проектирования пресс-формы. Сечение термоэлемента: 9,3×11,6 мм. Ниже представлены массы материалов каждого слоя, составляющие таблицы (Таблица 1).

Таблица 1 - Массы слоев термоэлемента

Слой	Ж	сетка	Ж	ТО	ДК-ТО	ТГ	ТС	ТВДГ	Ж	Ж	ЖО	ЖО
Масса, г	0,76	-	0,41	0,11	0,14	0,97	3,21	1,31	0,41	0,41	0,11	0,11

С помощью таблицы 1 и кривых уплотняемости данных материалов (железа, кобальта, ТГ, ТС, ТВДГ) необходимо рассчитать послойную засыпку.

## Глава 3.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМЫ

### 3.1 Расчет высоты засыпки

Чтобы не перегружать работу, кривые уплотняемости вышеуказанных материалов приводиться не будут. Все необходимые плотности и рассчитанные высоты для наглядности собраны в одной таблице (Таблица 2). Отметим, что площадь отдельной ветви р- и n-материала составила  $\approx 53,8$  мм<sup>2</sup>. Толщина слюды была условно выбрана 0,2 мм, а железной сетки – 0,3 мм.

Таблица 2 - Расчет высоты засыпки

Слой	Масса, г	Плотность утряски, г/см <sup>3</sup>	Высота засыпки, мм	Давление, МПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Высота, мм
Ж	0,76	3,41	2,1	$\approx 200$	5,87	1,2
сетка	-	-	0,3		-	0,3
Ж	0,41	3,41	1,1		5,87	0,6
ТО	0,11	4,93	0,4		6,67	0,3
ДК-ТО	0,14	3,03	0,9		5,36	0,5
ТГ	0,97	4,53	4,0		5,71	3,2
ТС	3,21	5,33	11,2		7,62	7,8
ТВДГ	1,31	4,63	5,3		6,54	3,7
Ж	0,41	3,41	2,2		5,87	1,30
Ж	0,41	3,41	2,2		5,87	1,30
ЖО	0,11	3,41	0,6		5,5	0,4
ЖО	0,11	3,41	0,6		5,5	0,4

Плотности материалов, для которых не были получены кривые уплотняемости, выбирались с помощью материалов схожего состава и (или) свойств[4].

Таким образом, высота засыпки составила 17,5 мм, а высота прессованного изделия 11,5 мм:

$$h_{\text{зас}} = 17,5 \text{ мм};$$

$$h = 11,5 \text{ мм}.$$



### 3.2 Расчет бокового давления

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 давление 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)[2].

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.

Пример бокового давления:

$$p_{\text{бок}} = 0,35 \cdot p \approx 0,35 \cdot 200 \approx 70 \text{ МПа.}$$

### 3.3 Расчет матрицы на прочность и жесткость

Матрица пресс-формы рассматривается как толстостенная труба, нагруженная равномерно распределенным по высоте внутренней стенки боковым давлением  $p_{бок}$ .

Под действием этого давления в стенке матрицы возникают радиальные и тангенциальные растягивающие напряжения, достигающие своего максимума на внутренней поверхности матрицы[2].

Следовательно, исходя из реальной прочности материала матрицы для условия  $\sigma_{эКВ} = \sigma_r + \sigma_\theta$ , получаем:

$$p_{бок} < [\sigma_p]/2, \text{ где } [\sigma_p] = 1000 - 1500 \text{ МПа.}$$

Как уже было описано выше, если радиальная деформация матрицы превышает допустимую величину, выпрессовка полученной в результате прессования заготовки сопровождается появлением трещин на ее боковой поверхности. Исходя из изложенного, стальные матрицы рассчитывают из условия обеспечения жесткости, условие прочности в этом случае удовлетворяется автоматически.

$$\sigma_r = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 - \frac{r_2^2}{r_1^2}\right) \cdot p_{бок}$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r_1^2}\right) \cdot p_{бок}$$

где  $r_1$  - внутренний радиус матрицы,  $r_2$  - внешний радиус матрицы.

$$r_1 = 4,65 \text{ мм}, r_2 = 14,65 \text{ мм}, p_{бок} = 70 \text{ МПа}$$

$$\sigma_r = \frac{(4,65)^2}{(14,65)^2 - (4,65)^2} \cdot \left(1 - \frac{(14,65)^2}{(4,65)^2}\right) \cdot 70 = -70 \text{ МПа}$$

$$\sigma_\theta = \frac{(4,65)^2}{(14,65)^2 - (4,65)^2} \cdot \left(1 + \frac{(14,65)^2}{(4,65)^2}\right) \cdot 70 = 90 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{эКВ} = \sigma_\theta - \sigma_r = 160 < [\sigma] = 1000 \div 1200 \text{ МПа}$$

### 3.4 Расчет пуансонов на сжатие

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

$$\sigma_k = p_z / F_k < [\sigma_{0,2}] = 450 \div 550 \text{ МПа},$$

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

$p_z$  - осевое усилие прессования МН;

$F_k$  - площадь контактной поверхности пуансона.

Для верхнего пуансона (половинчатого)  $\sigma_k = 41 \text{ МПа} < [\sigma_{0,2}]$ .

Как видим, конструкция оснастки позволяет работать при данных давлениях. Дальнейшие расчеты не являются необходимыми, но могут быть проведены в условиях проектирования уже готового изделия. Данная пресс-форма является, прежде всего, макетом для возможной модернизации и оптимизации процесса холодного прессования.

## Глава 4. СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРЕСС-ФОРМЫ

### 4.1 Внедрения проставок в пресс-форму

В этой главе я представлю модернизацию пресс-формы используя проставки между гильзой матрицы и опорой, чтобы обеспечить более равномерные слои засыпки порошка. Это должно помочь получить более качественные изделия с постоянными размерами.

Сначала я начертил уже имеющуюся пресс-форму для прессования термоэлементов и проанализировал, какие части данной пресс-формы нужно модернизировать и что нужно добавить. Было решено изменить опору, чтобы увеличить длину нижнего статичного пуансона. Изменения показаны на рисунке 3.

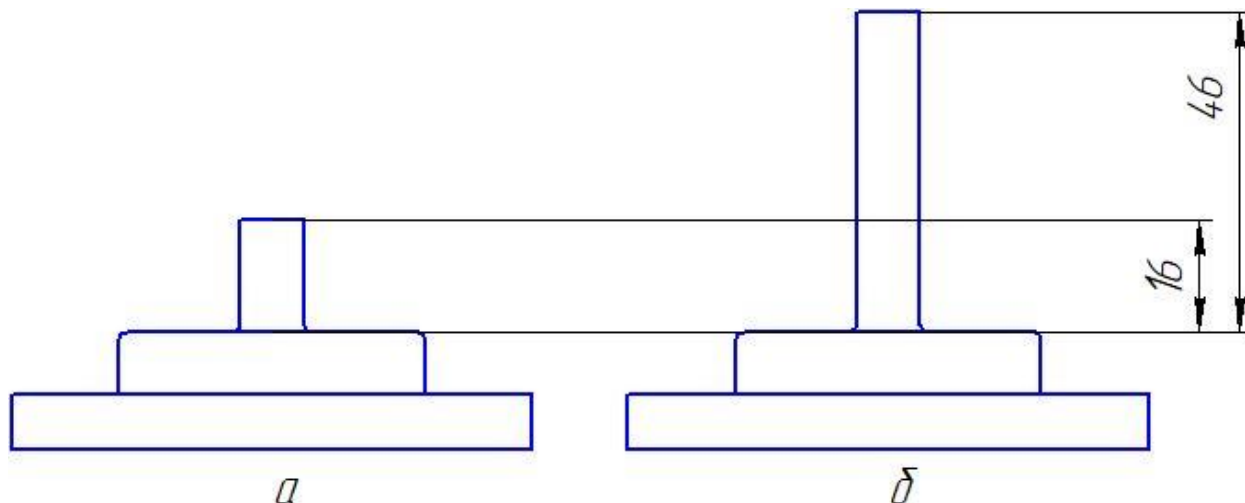


Рисунок 3. - Изменение опоры

А также создать проставки под гильзу для того, чтобы менять расстояние от нижнего пуансона до края матрицы. Их количество и толщина зависят от количества слоев разных материалов и от высоты засыпки данных материалов. Одна проставка будет состоять из двух половинок, представленных на рисунке 4.

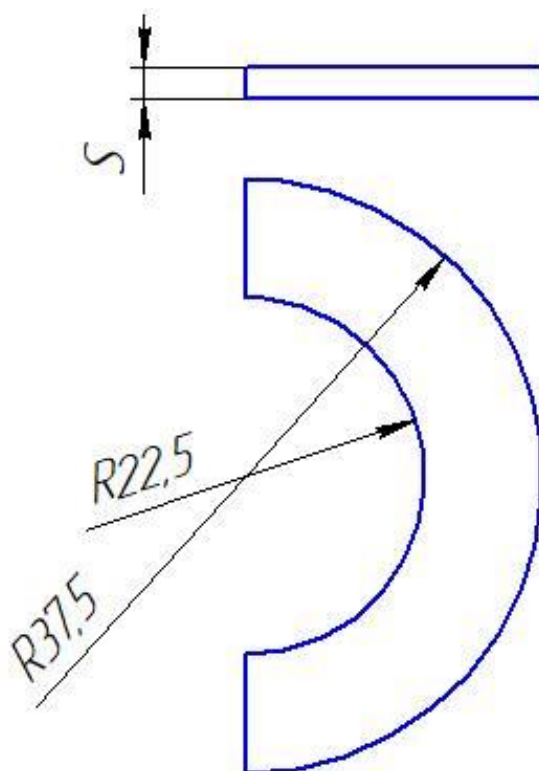


Рисунок 4. -Проставка

Размер Sменяется относительно высоты засыпки слоя материала.Проставка устанавливается после засыпки первых слоев порошка.

Сначала засыпаетсяпорошок марки Ж затем устанавливается сетка и снова порошок марки Ж, как на рисунке 5.

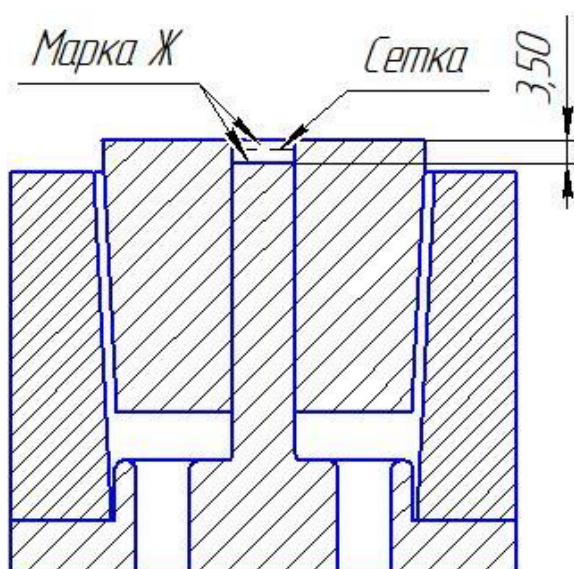


Рисунок 5. - Засыпка порошка марки Ж и укладка сетки

Порядок подготовки к прессованию:

1. Засыпается порошок марки Ж весом 0,76 грамм.
2. Устанавливается сетка.
3. Засыпается порошок марки Ж до края матрицы.
4. Затем ударами резинового молотка по гильзе пресс-формы происходит утряска.
5. Металлической пластиной снимаем излишки порошка проводя по плоскости матрицы.
6. Далее устанавливается проставка толщиной 0.4 мм для засыпки порошка марки ТО, но перед этим мы устанавливаем изолятор (пластинку из слюды) в прорезь на матрице(рисунок 6).

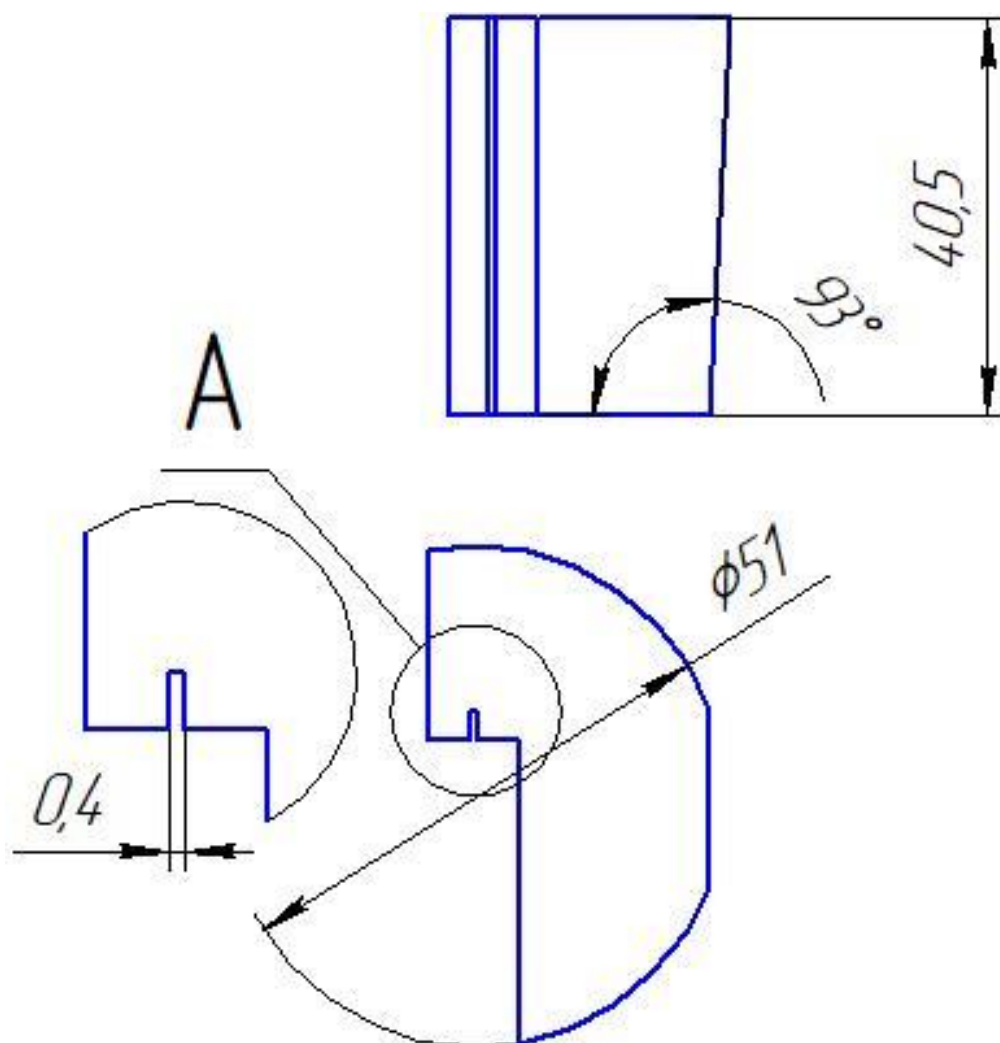


Рисунок 6. -Полуформа матрицы

7. Засыпаем порошок марки ТО и марки ТС до края матрицы в разные половины,разделённые изолятором (рисунок 7).

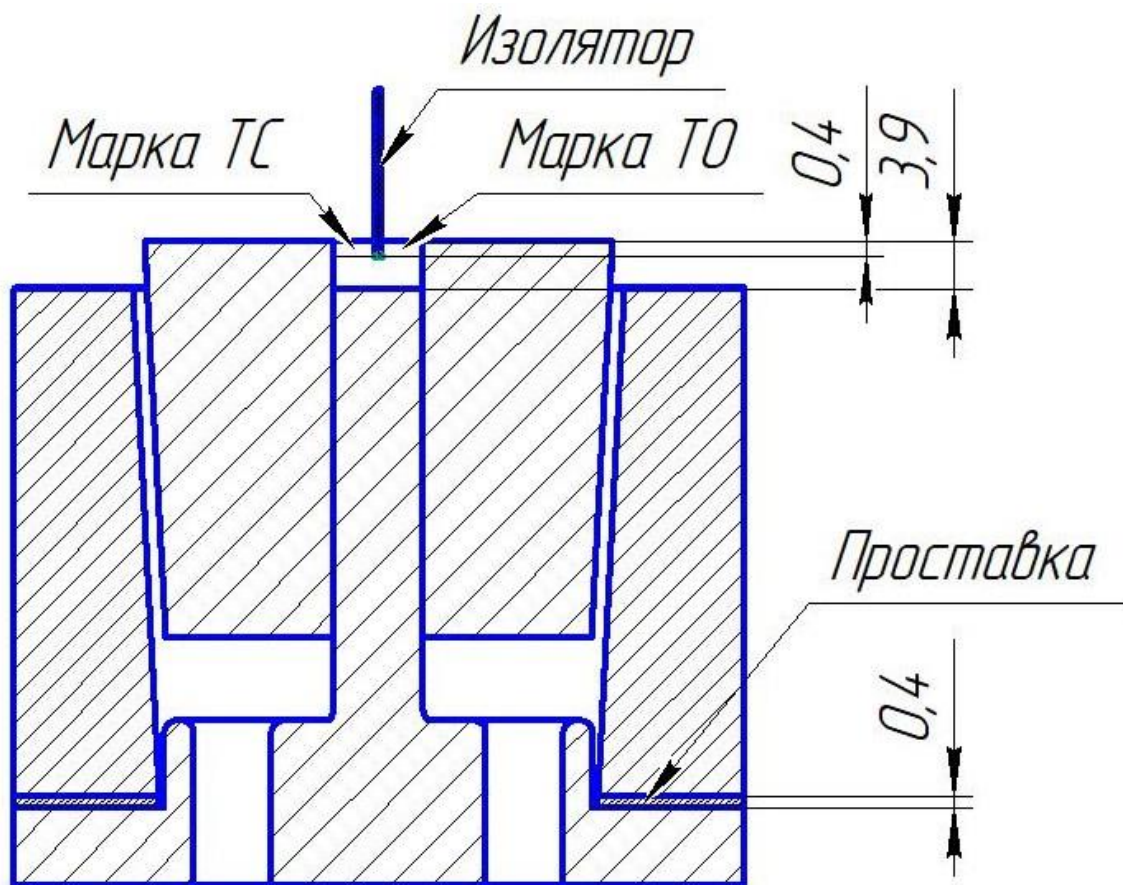


Рисунок 7. -Засыпка порошка с первой проставкой

8. Снимаем излишки порошка металлической пластиной
9. Далее повторяем пункты 4, 7 и 8 для порошков ДК-ТО, ТГ, ТДВГ, ТС ЖО и Ж

Высоты этих половинок разные так-как высота засыпки порошка ТС выше суммарной высоты засыпки порошков марки ТО, ДК-ТО, ТГ и ТДВГ. Из-за этого значительно увеличивается число проставок, чтобы обеспечить все слои засыпки изделия равномерным слоем. На рисунке 8 и 9 показана высота засыпки половинок термоэлемента[5].

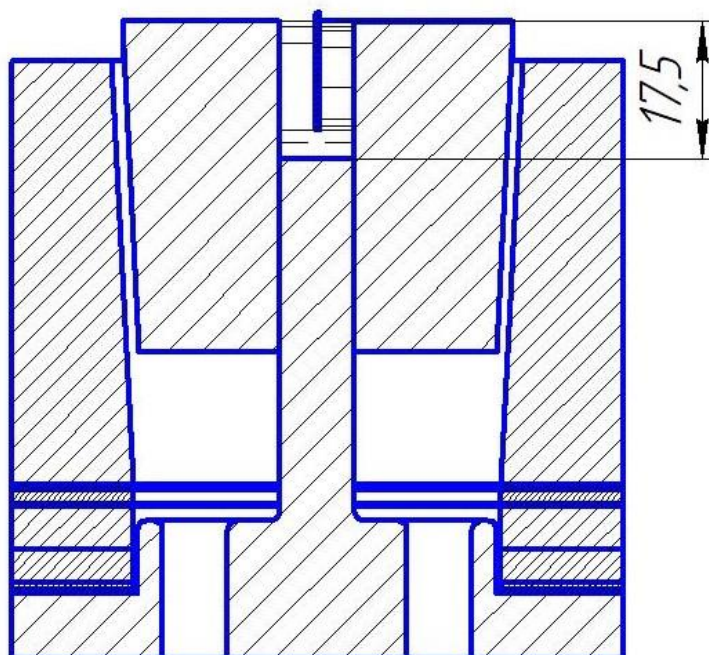


Рисунок 8. - Высота засыпки в пресс-форме всех слоев

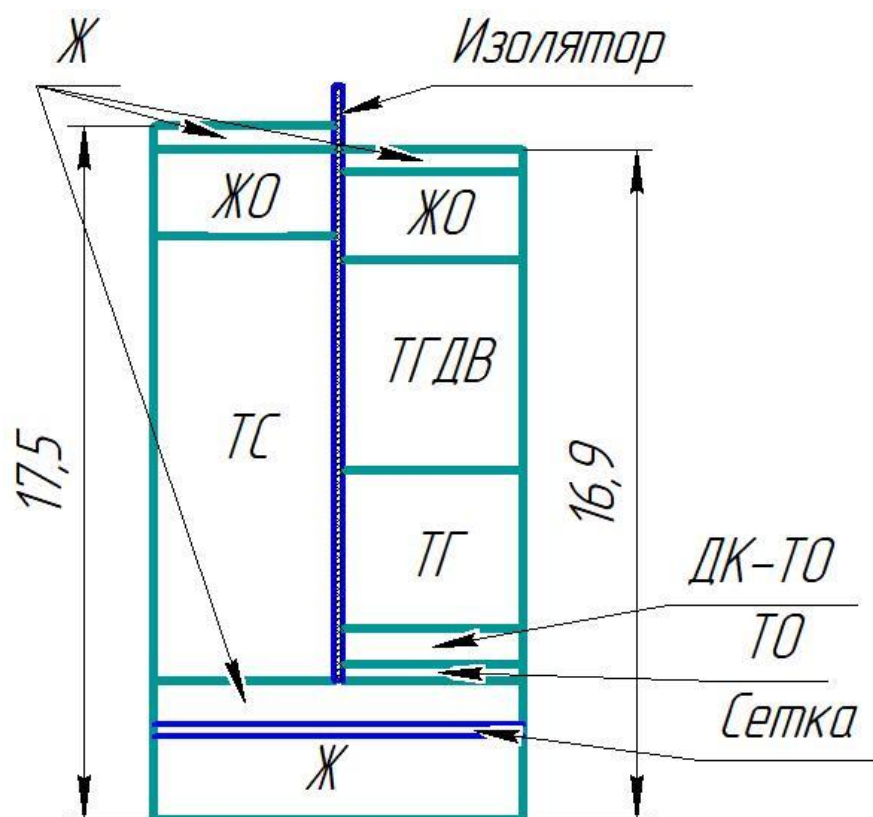


Рисунок 9. Высота засыпки всех слоев



10. После того как все слои засыпаны ставим последнюю проставку, чтобы установить пуансоны для прессовки изделия(рисунок 10). Пуансоны тоже подвергнутся модернизации, таким образом, чтобы при прессовании регулировать высоту изделия не давлением, а упором опорой пуансона на поверхность матрицы.

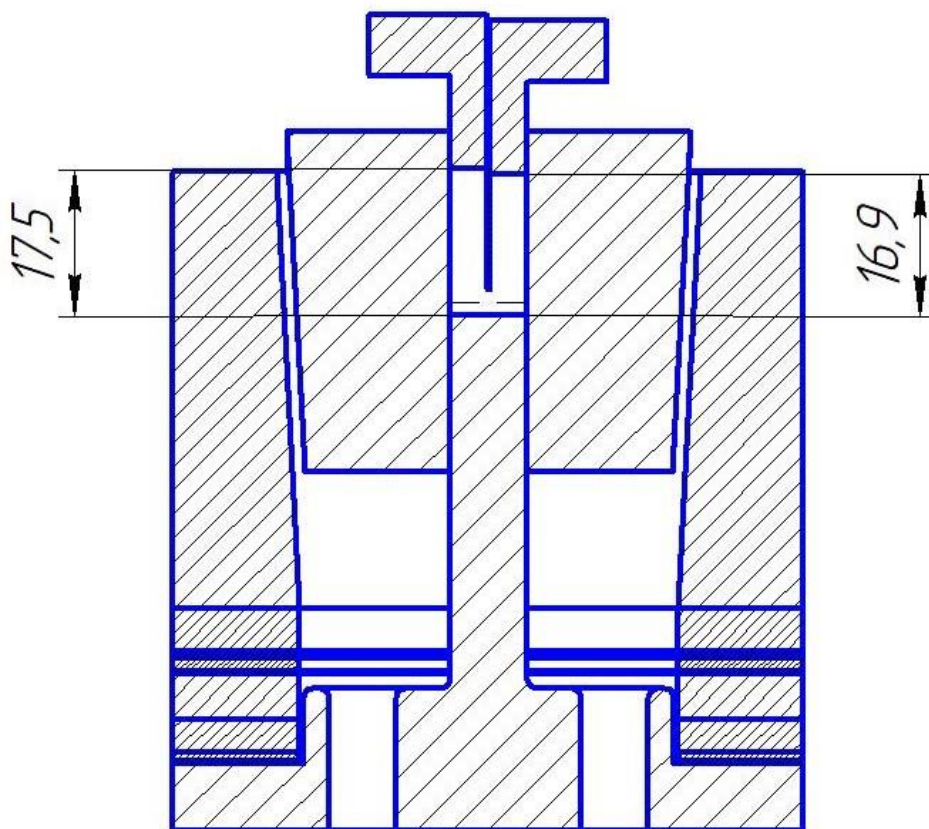


Рисунок 10. - установка пуансонов в матрицу

11. Далее начинаем прикладывать давление, с помощью прессы, к пуансонам. Первым начнет двигаться пуансон, который выше, так как высота засыпки в этой половине выше. Из-за этого плотность будет разная, в особенности будет страдать общее основание двух половин, потому что одну половину мы прессуем больше чем другую. На рисунке 11 показан конечный результат прессования, пуансоны уперлись в матрицу, тем самым ограничив дальнейшее прессование.

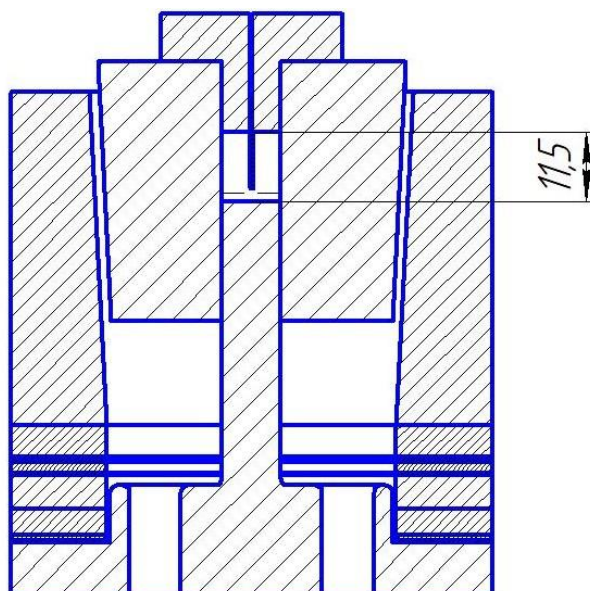


Рисунок 11. - Верхние пуансоны в нижнем положении

12. Достаем изделия из матрицы. Для этого нам понадобится выталкиватель, так как из-за проставок основание пресс-формы стало находиться на большем расстоянии от матрицы, выталкиватель нужно подвергнуть изменению, а именно увеличить длину его штифтов до 58мм (рисунок 12).

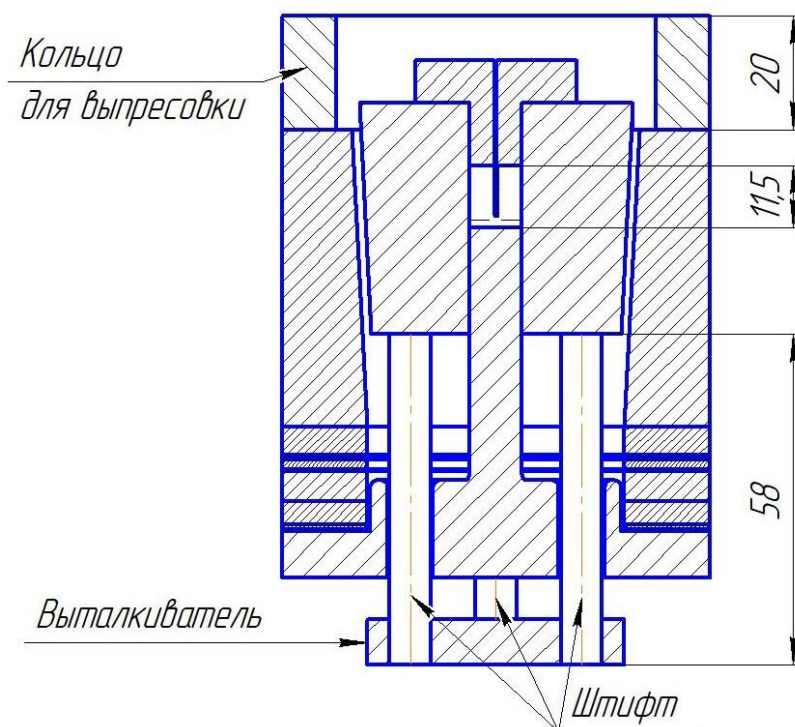


Рисунок 12. - извлечение изделия из пресс-формы

Устанавливаем пресс-форму на штифты выталкивателя, наверх гильзы устанавливаем кольцо для выпрессовки и всю эту конструкцию ставим на пресс, а после нажимаем на кольцо. В итоге получается, что кольцо давит на гильзу вниз, а выталкиватель матрицу наверх. После освобождения матрицы от гильзы, прекращает нажатие прессом на кольцо и разбираем пресс-форму с извлечением изделия.

Данный вариант модернизации решает только одну проблему. Он дает только равномерность засыпки слоев, что способствует также равномерности слоев в уже спрессованном элементе. Но проблема в непредсказуемости прессования основания, соединяющего две половины, так и не решена, поэтому появилась идея в другом варианте модернизации пресс-формы.

#### **4.2 Второй вариант модернизации пресс-формы.**

В этом варианте модернизации пресс-формы мы постараемся решить проблему с разновысотностью засыпки. Идея заключается в том, чтобы разбить прессования изделия на четыре части:

1. Неполное прессование р-ветви термоэлемента
2. Неполное прессование n-ветви термоэлемента
3. Неполное прессование основания термоэлемента
4. Сборка всех частей изделия в пресс-форме и их прессование до конечного размера изделия

Прессование р-ветви термоэлемента и n-ветви похоже, единственное отличие — разные марки порошка и толщина их слоя. Поэтому мы рассмотрим только прессование более сложной р-ветви, так как она имеет большее количество слоев, в отличие от n-ветви.

Порядок действий:

1. Сборка пресс-формы в рабочее состояние и установка в матрицу дополнительный стенки ограничивающий объем рабочий полости матрицы, как показано на рисунке 13.

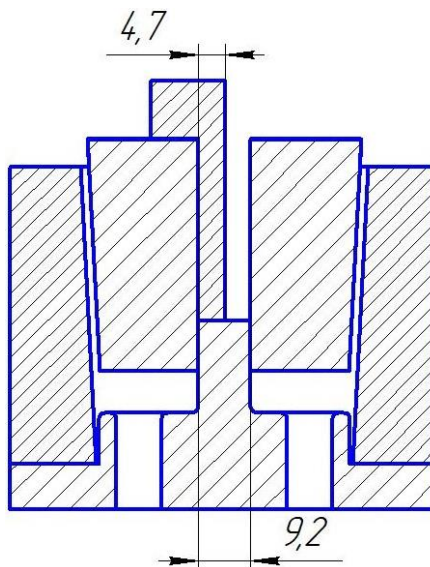


Рисунок 13. - Пресс-форма с ограничением объема матрицы для прессования ветвей термоэлемента.

В данном методе высота засыпки будет производиться не до края матрицы, а по весу.

2. Засыпаем 0,11 грамм порошка марки ТО. Устанавливаем верхний пуансон и ударами резинного молотка по гильзе матрицы создаем вибрацию, тем самым слой получается ровным (рисунок 14). Вынимаем пуансон.

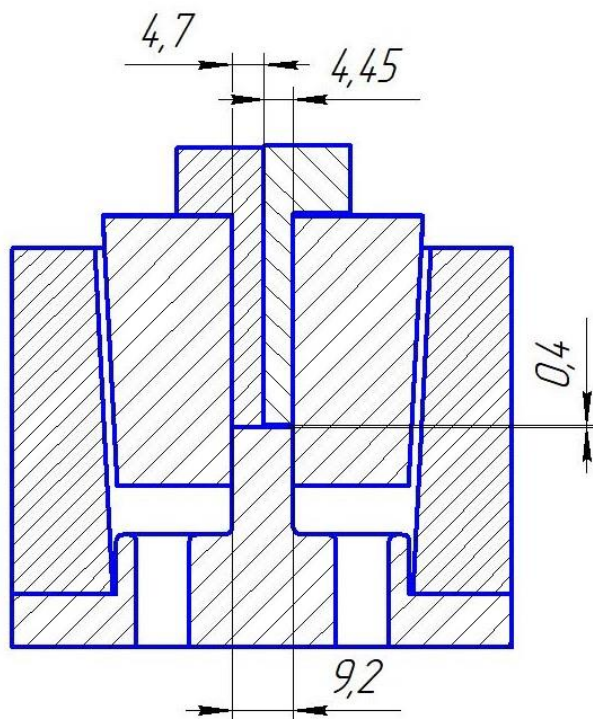


Рисунок 14. - Засыпка порошка марки ТО.

0,11 грамм порошка марки ТО примерно равна 0,4мм высоты засыпки в матрицу.

Повторяем 2 пункт для остальных слоев с их весом. В конце мы должны получить засыпку как на рисунке 15

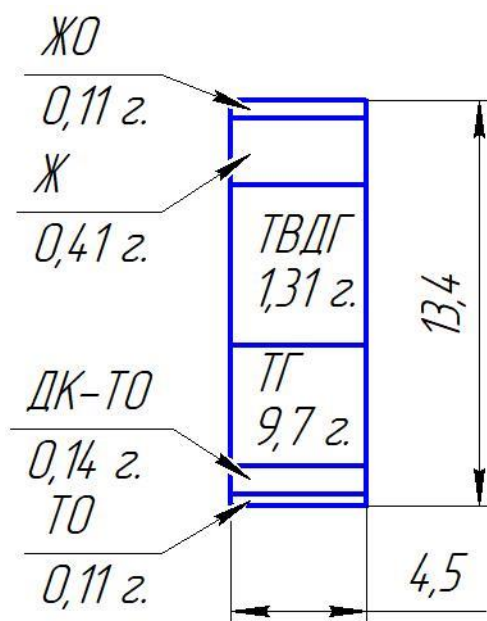


Рисунок 15. - Высота засыпки р-ветви термоэлемента



3. Устанавливаем пуансон для прессования с ограничением по высоте прессования, чтобы после прессования высота р-ветви была равна высоте п-ветви. И прессуем изделие (рисунок 16).

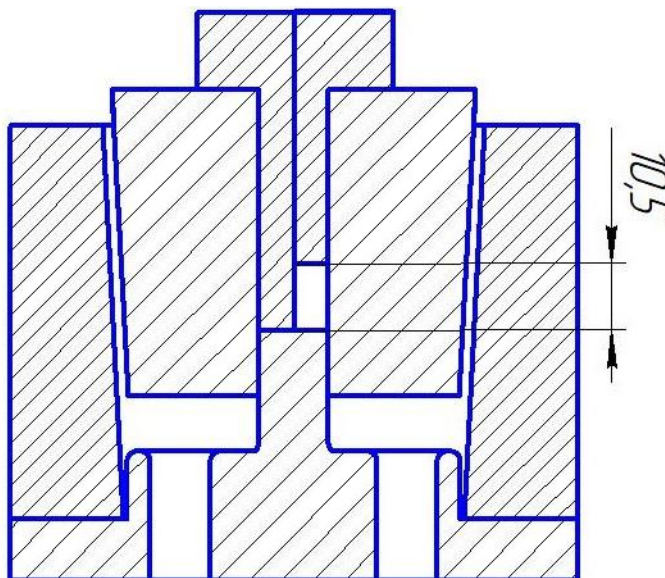


Рисунок 16. - Спрессованная ветвь термоэлемента

4. Извлекаем изделие при помощи выталкивателя (рисунок 17)

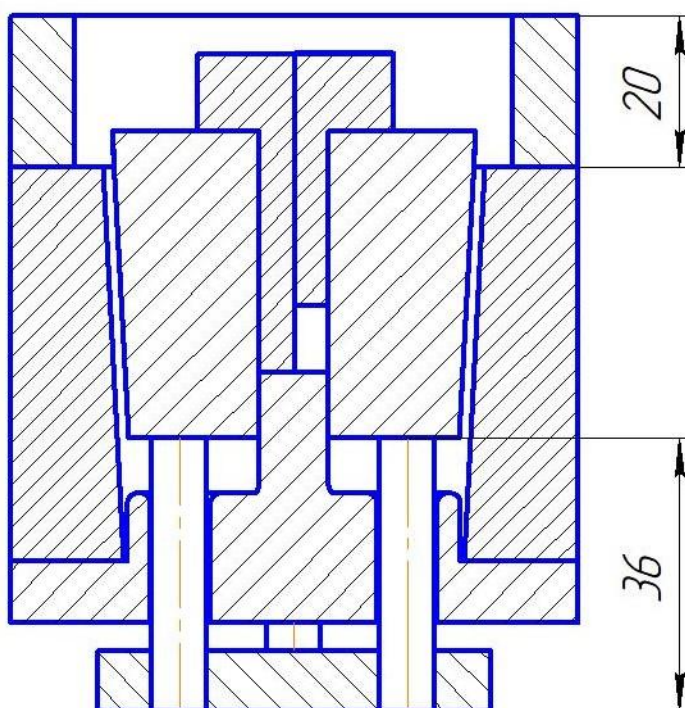


Рисунок 17. - Извлечение изделия с помощью выталкивателя

Затем повторяем все действия для n-ветви термоэлемента. И получаем такое же по размерам элемент. На рисунке 18 показаны геометрические параметры этих элементов.

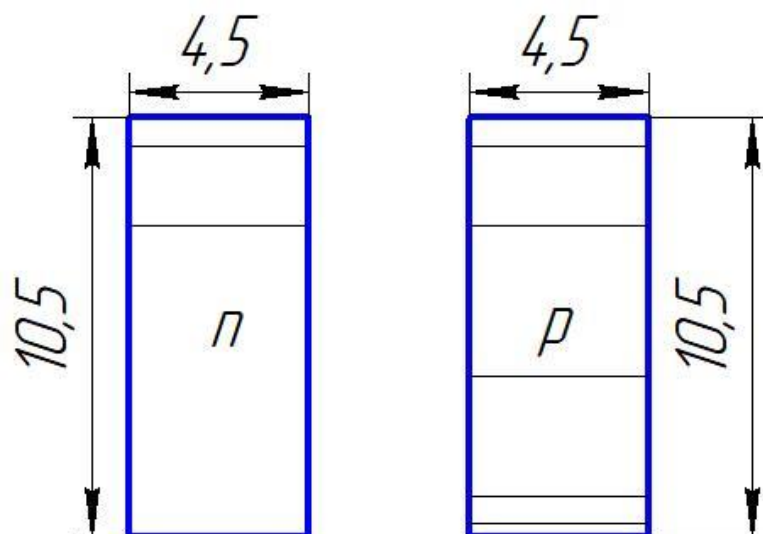


Рисунок 18. - Заготовки ветвей термоэлемента

Прессование основания происходит в полном объёме рабочей полости матрицы. Сначала происходит засыпка порошка марки Ж массой 0,76г., слой выравнивается и укладывается сетка, затем засыпается порошок марки Ж массой 0,41г. (рисунок 19)

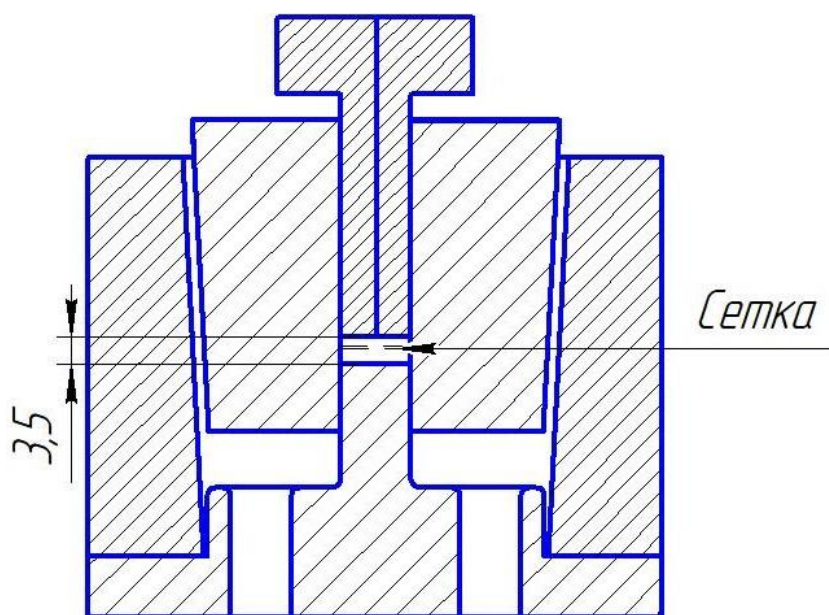


Рисунок 19. - Засыпка порошка марки Ж сетки

Затем все это прессуется с усилием 150 Мпа, теми же пуансонами, что и на рисунке 14, а после прессования основание извлекается.

Сборка термоэлемента в единое изделие происходит в пресс-форме горячего прессования для того, чтобы собрать его в единый элемент и допрессовать до конечного размера изделия. В пресс-форме горячего прессования будет прессоваться не одна термопара, а сразу несколько, так как мы будем прессовать термоэлектрическую батарею.

Термоэлектрическая батарея состоит из нескольких частей:

- 1) Кассета
- 2) Термопара
  - a) p-ветвь
  - b) n-ветвь
  - c) изолятор
  - d) Основание термопары
- 3) колпачок

Все это собирается в такой последовательности, как это указано выше, прессуется в пресс-форме горячего прессования, и на выходе мы получаем готовое изделие.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе были определены: плотность утряски и плотность при давлении 200 МПа для порошков марки Ж, ТС, ТО, ДК-ТО, ТГ, ТВДГ и ЖО, что помогло в модернизации пресс-формы и в создании первого способа усовершенствования процесса прессования термопар.

Первый способ заключался в том, что включая проставки мы можем регулировать ими высоту засыпки и создавать равномерный слой порошка. Но данный способ решил только одну проблему - проблему неравномерности слоев засыпки. И все также стоял вопрос, как уменьшить разноплотность ветвей термопары и их общего основания. Таким образом появился второй способ.

Следующий способ должен был решить проблему разноплотности и сохранить равномерность слоев. Поэтому было решено прессовать ветви термопар отдельно, чтобы убрать разность высот засыпок, как было до этого.

По моему мнению, второй способ лучше. Он имеет, как и в первом случае, равномерные слои, а также уменьшает разноплотность при конечном прессовании термоэлемента. Но необходимо провести ряд экспериментов, чтобы получить полное представление о данном методе.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник— М.: Наукова Думка. 1979. 385 с
2. Либенсон Г.А. Знакомьтесь - порошковая металлургия. — М.: «Металлургия», 1976. -56 с.
3. Демин Е.Н. Справочник по прессформам.— М.: Под ред. И.Г. Космачева. Л., Лениздат, 1967
4. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В., Арутюнова И.А., Шабашов С.П., Ефремов В.К., Технология металлов.— М.: «Металлургия», 1974. 648 с.
5. Петросян, А.С. Порошковая металлургия и технология композиционных материалов. — М. : Изд. А.С. Петросян, 2007. — 240 с.