

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет Материаловедения и металлургических технологий
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент

Е.Е. Щетинина

_____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ В.Г. Шеркунов

_____ 2017 г.

Тема работы: «Разработка и исследование технологии упрочнения инструментальной оснастки для формования порошковых заготовок»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-15..04.01-2017-00.00.00 ПЗ**

Руководитель работы:

М.Н. Самодурова _____ /

Автор работы

С.С. Капкаев _____ //

студент группы П-249

Челябинск
2017

АННОТАЦИЯ

Капкаев Г.С. Разработка и исследование технологии упрочнения инструментальной оснастки для формования порошковых заготовок. – Челябинск: ЮУрГУ, П; 2017, 146 с., 63 илл., 37 табл., библиогр. список — 86 наим., 2 листа чертежей ф. А1,6 листов чертежей ф. А4, 2 листа чертежей ф. А3, 4 плаката ф. А1, 1 плакат ф. А2, 1 плакат ф. А3, 4 прил.

В первой части спроектирован технологический процесс изготовления детали “Ось натяжного ролика”. Были проведены расчеты деталей пресс-формы и спроектирована пресс-форма и цех для изготовления детали.

В исследовательской части работы сделан литературный обзор причин износа технологической оснастки и способы повышения износостойкости пресс-форм. Выбран современный способ нанесения покрытий – лазерная наплавка. Предложены эксперименты с различными параметрами наплавления и упрочняющее покрытие – композиционный материал ВЗК и армирующая фаза TiC .

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 РАЗРАБОТКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ “ОСЬ НАТЯЖНОГО РОЛИКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	10
1.1 Анализ технологичности детали и марки материала	10
1.2 Общая схема технологического процесса	13
1.3 Приготовление смеси	14
1.4 Прессование в пресс-форме.....	23
1.5 Контроль прессования	35
1.6 Спекание.....	38
1.7 Контроль спеченного изделия.....	38
1.8 Калибрование.....	38
1.9 Контроль калибрования	40
1.10 Организация рабочего места и технологическая карта технологического процесса при производстве детали “Ось натяжного ролика”	42
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ И ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ.....	47
2.1 Расчет припусков и допусков на размеры спеченных изделий	47
2.2 Определение массы навески порошка.....	50
2.3 Расчет высоты спрессованного изделия	52
2.4 Расчет размеров рабочей полости матрицы	57
2.5 Определение размеров стержня	59
2.6 Расчет усилия прессования и усилия выталкивания	60
2.7 Прочностные расчеты деталей пресс форм	62
3 ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ПРЕСС-ФОРМ.....	68

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ДЛЯ ХОЛОДНОГО ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	68
3.1 Литературный обзор.....	68
3.2 Виды износа пресс-форм	69
3.3 Механизм износа пресс-форм	78
3.4.Способы нанесения покрытий	81
3.4.1 Погружение в расплав.....	81
3.4.2 Плакирование.....	82
3.4.3 Эмалирование	83
3.4.4 Напыленные покрытия (газотермические покрытия).....	84
3.4.5 Метод лазерной наплавки.....	87
3.4.5.1 Презентация процесса.....	87
3.4.5.2 Параметры лазерной наплавки.....	90
3.5. Выбор материалов	91
3.5.1. Типы материалов	91
3.5.2 ВЗК.....	93
3.5.3 Свойства композиционных материалов для упрочнения штамповой оснастки для горячей объемной штамповки	94
3.6 Выводы	100
4 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	102
4.1 Анализ порошка.....	102
4.2 Экспериментальная установка	104
4.3 Автоматизация процесса	106
4.4 План исследования	108
4.4.1 Первая серия исследования	108
4.4.2 Вторая серия исследования	109

4.4.3 Третья серия экспериментов	110
4.5 Характеристика инструментов.....	113
4.5.1 Анализ структуры и свойств композиционных материалов.....	113
4.5.2 Гранулометрический и морфометрических анализ порошка	114
5 ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	116
5.1 Выводы из первой серии исследования	116
5.2 Выводы из второй серии исследования	117
5.3 Выводы из третьей серии исследования	118
5.3.1 Уравнения регрессии и геометрия кордонов.....	118
5.3.2 Микроструктура	120
5.3.3 Твердость.....	124
5.4 Перспективы развития использования технологии наплавки	125
6 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	126
6.1 Производственная программа.....	126
6.2 Расчет оборудования.....	126
6.3 Определение работающего состава участка и его численности	128
6.4 Расчет численности вспомогательных рабочих	129
6.5 Расчет численности служащих.....	129
6.6 Расчет расхода основных, вспомогательных материалов и энергоносителей	130
6.7 Площади, компоновка и планировка участка.....	131
6.8 Выбор здания цеха и его параметров	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	133
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	135
ПРИЛОЖЕНИЯ	145

Приложение А – Спецификация «Пакет инструментов».....	145
Приложение Б – Спецификация «Пакет инструментов».....	145
Приложение В – Спецификация «Порошковый цех».....	145
Приложение Г – Свойства армирующих фаз.....	146

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

ВВЕДЕНИЕ

Прессование в пресс-формах является одним из наиболее производительных и относительно недорогих способов производства по сравнению с механической обработкой. Производительность значительно снижает отходы. Данный процесс позволяет получать конечный продукт точной формы с хорошим качеством поверхности и высокими механическими свойствами. Прессование порошков играет важную роль в формировании частей для авиационной и автомобильной отраслей. Использование износостойких материалов и высокопрочной стали в этих областях, сопровождается более жесткими условиями для рабочего инструмента с высокими термическими, механическими и трибологическими свойствами. Эти напряжения приводят к износу пресс-форм и дефекту качества прессованных изделий.

В настоящее время остается очень трудно точно предсказать процессы износа инструмента при формовании порошковых заготовок. Это предсказание часто включает в себя сочетание промышленного ноу-хау и моделирование процесса. В условиях снижения стоимости затрат на производство, задача состоит в том, чтобы увеличить срок службы инструмента, который составляет около 17% себестоимости продукции.

Исследования в этой области показали, что для повышения износостойкости пресс-форм, в частности рабочего инструмента, наиболее выгодно использовать технологию наплавки. Одним из самых современных и выходных способов наплавления композитного материала на деталь является лазерная наплавка.

Теоретические и экспериментальные исследования физико-химических процессов, происходящих в порошковых материалах при интенсивных внешних воздействиях (температура, давление, электромагнитные поля и т. п.), до сих пор остаются привлекающими к себе внимание и всесторонне развиваемыми областями физики твердого тела, порошковой металлургии и химической физики.

Первые главы заключаются в разработке технологического процесса и проектировании технологической оснастки изделия ось натяжного ролика.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

В третьей главе работы был сделан обзор и анализ научно-технической литературы, в результате которого выявлены основные причины износа технологической оснастки и приведены примеры повышения износостойкости.

В четвертой главе представлены результаты серий экспериментов. Было сделано:

- 1) Проведен анализ порошка.
- 2) Подробно рассмотрена машина для наплавки.
- 3) Составлен план исследования.

В пятой главе были проведены эксперименты согласно плану исследования из четвертой главы и были выбраны необходимые параметры процесса. По каждой серии эксперимента были сделаны выводы .

В шестой главе были проведены расчеты организационно-экономической части работы.

В последней главе содержатся выводы данной работы.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1 РАЗРАБОТКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ “ОСЬ НАТЯЖНОГО РОЛИКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

1.1 Анализ технологичности детали и марки материала

Деталь "Ось натяжного ролика" (приложение А) имеет два перехода по высоте $h_1=7$ мм, $h_2=33$ мм. Имеется нецентральное сквозное отверстие диаметром $\varnothing 10$ мм. В сечении верхняя часть детали ($h=7$ мм) представляет собой правильный шестиугольник, а нижняя часть ($h= 26$ мм) в сечении представляет собой окружность диаметром $\varnothing 25$ мм. Из-за данных конструктивных особенностей детали усложняется конструкция матрицы. Матрица будет состоять из двух вставок. Первая- верхняя имеет отверстие в виде правильного шестиугольника, а вторая вставка со сквозным круглым отверстием. Данную деталь можно отнести к изделиям V группы сложности. Изделие данной группы будем получать прессованием на пресс-автомате в автоматическом режиме.

Материал для изготовления данной детали служит - конструкционный порошковый материал ЖГрО,8Д4Н1. По условиям эксплуатации это материал общего назначения, по степени нагруженности - умеренно нагруженный. Условия работы таких материалов могут быть самыми разнообразными - обычные и агрессивные среды, наличие обильного количества смазки и ее отсутствие, повышенные температура и влажность, в легконагруженных узлах и в узлах, несущих большие нагрузки.

Деталь "Ось натяжного ролика" применяется в машиностроении и в сельскохозяйственной технике в натяжных устройствах ременных и цепных передач. Это умеренно нагруженная деталь, а такие детали целесообразно выполнять из порошков углеродистых и низколегированных сталей, однократным или двойным прессованием. Обычно такие порошки получают методом легирования в процессе совместного восстановления оксидов, отжигом смеси порошка железа с лигатурой.

В состав данной композиции входят следующие марки порошков, [3].

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

-порошок железный восстановленный (94 %), марки ПЖВ2.160.26 по ГОСТ9849-86 [7]. По гранулометрическому составу-160мкм, по крупности зерна относится к мелкому, с насыпной плотностью 2,6 г/см³. Химический состав, гранулометрический состав и насыпная плотность данного порошка даны в таблицах 1, 2, и 3.

Таблица 1 – Химический состав железного порошка ПЖВ-2,%

Fe	C	Si	Mn	S	P	O	Остаток не растворим, в соляной кислоте.
Основа	0,03	0,15	0,35	0,02	0,02	0,2	0,3

Таблица 2 - Гранулометрический состав порошка ПЖВ-2

Класс крупности	Выход фракции, %, при размере частиц, мм					
	от 0,45 до 0,25	от 0,25 до 0,16	от 0,16 до 0,1	от 0,1 до 0,071	от 0,071 до 0,045	менее 0,045
160	-	0-10	10-30	20-40	20-30	10-30

Таблица 3- Насыпная плотность порошка ПЖВ-2

Обозначение насыпной плотности	Насыпная плотность, г/см ³
26	2,5*2,7 включительно

-графит карандашный (0,8%), марки ГК-3 по ГОСТ4404-78, зольность которого может быть высокой, а размер частиц 20-90 мкм.

-порошок медный стабилизированный (4%) , марки ПМС-1у по ГОСТ 4960-75. Форма такого порошка - дендритная, разветвленная. В промышленных условиях порошок получают используя кислый раствор меди (медный купорос) и медные аноды и катоды марки М1 В связи с тем, что извлеченный из ванны медный порошок промывают горячей водой, что вызывает коррозию, проводится стабилизация порошка обработкой его раствором хозяйственного мыла или мылонафта (продукт очистки керосина). Образующаяся на частицах гидрофобная

пленка защищает его от коррозии. Химический состав, гранулометрический состав и насыпная плотность дан в таблицах 4, 5 и 6.

Таблица 5-Химический состав медного порошка ПМС-1у

Медь не менее	Fe	Pb	As	Sb	O	Серно кислые соединения металлов в пересчете на ион SO ₄	Влага	Прокаленный остаток после обработки порошка азотной кислотой,
99,7	0,02	0,05	0,005	0,01	0,2	0,01	0,05	0,05

Таблица 5-Гранулометрический состав медного порошка ПМС-1у

Номиналь ный размер частиц порошка, мм	Прохождение через сито с сетками номер						Остаток на сите номиналь- ного раз- мера %, не более
	045K	022K	018K	01K	0071K	0045K	
	%, не более						
0,1	-	-	-	99,5	90	65-80	0,5

Таблица 6- Насыпная плотность медного порошка ПМС-1у

Насыпная плотность , г/см ³	Допуск,разброс значений, г/см ³
1,25-1,9	±0,1

- никелевый порошок электролитический (1%) марки ПНЭ1 по ГОСТ9722-79.

Данный порошок изготавливают при электролизе аммиачных растворов сернокислого никеля. Электролит содержит 5-15 г/л никеля, 75-80 г/л сульфата аммония 2-3 г/л серной кислоты, 40-50 г/л хлористого аммония и до 200г/л

хлористого натрия. Химический и гранулометрический составы, а также насыпная плотность никелевого порошка даны в таблицах 7, 8 и 9

Таблица 7 - Химический состав никелевого порошка ПНЭ1, %

Никель плюс кобальт, не менее	C	He	Co	O	Si	Cu	S
	Не более						
	99,02	0,2	0,5	0,1	0,03	0,08	0,008

Таблица 8 - Гранулометрический состав никелевого порошка ПНЭ1

Остаток на сите с сетками номер		Прохождение через сито с сетками номер	
022К	0071К	0071К	0045К
%, не более		%, не менее	
-	4	-	30

Таблица 9. - Насыпная плотность никелевого порошка ПНЭ1

Марка	насыпная плотность, г/ см, не более
ПНЭ1	3,4

1.2 Общая схема технологического процесса

Типовая технология изготовления конструкционных изделий в общем виде заключается в следующем: в начале производится входной контроль исходных материалов, которые поставляются в готовом виде с завода-изготовителя порошков на участок, согласно стандартам и свойствам, оговоренных в технических условиях. Затем выполняются все операции по подготовке порошковой шихты, и в результате прессования и спекания получают детали, которые после проверки поступают на упаковку. При необходимости спеченные детали до контроля и упаковки пропитывают маслом, калибруют, и допропитывают маслом.

Схема технологического процесса изготовления детали "Ось натяжного ролика" представлена на рисунке 1.

1.3 Приготовление смеси

Как видно из схемы технологического процесса (рисунок 1) приготовление смеси состоит из следующих операций: контроль исходного материала, просев, пластифицирование и смешение.

Исходным сырьем для изготовления изделия конструкционного назначения служат порошки металлов (марки порошков их химический .гранулометрический составы , а также значения насыпной плотности представленные в разделе 1.1), свойства которых должны быть указаны в стандартах и или технических условиях.

Перед приготовлением порошковой шихты производится контроль исходных порошков, поступающих с заводов - изготовителей порошков, на цех или участок. Поступившие порошки должны иметь сертификаты с указанием основных свойств или карточки входного контроля. Тары с металлическими порошками распаковывают и подают на вибросита модели ВС-2 (рисунок 2), по ГОСТ 6613-73,[3,4] и просеивают. Вибрация обеспечивается разными способами, но наиболее часто с этой целью применяются дебалансные устройства.

Обечайка 1, на которую натянута ситовое полотно 2, укреплена на подпружиненной раме. Рама вибрирует благодаря вращению эксцентрикового валика, приводимого в движение электродвигателем 4 через ременную передачу. Просеиваемый порошок попадает в приемный бачок 6 через воронку 5. Сито должно быть помещено в кожух с вытяжной вентиляцией.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

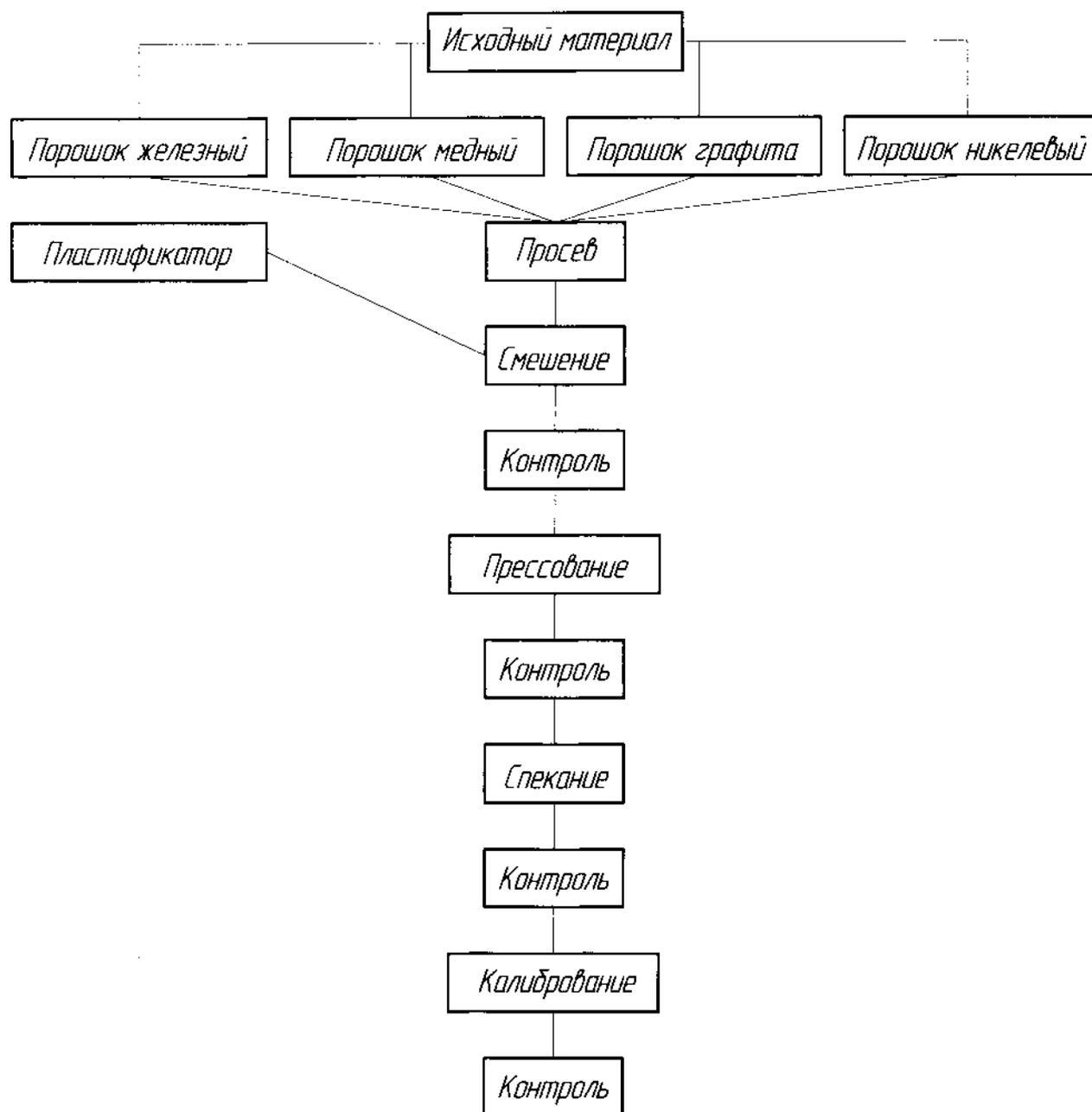


Рисунок 1 – Схема технологического процесса

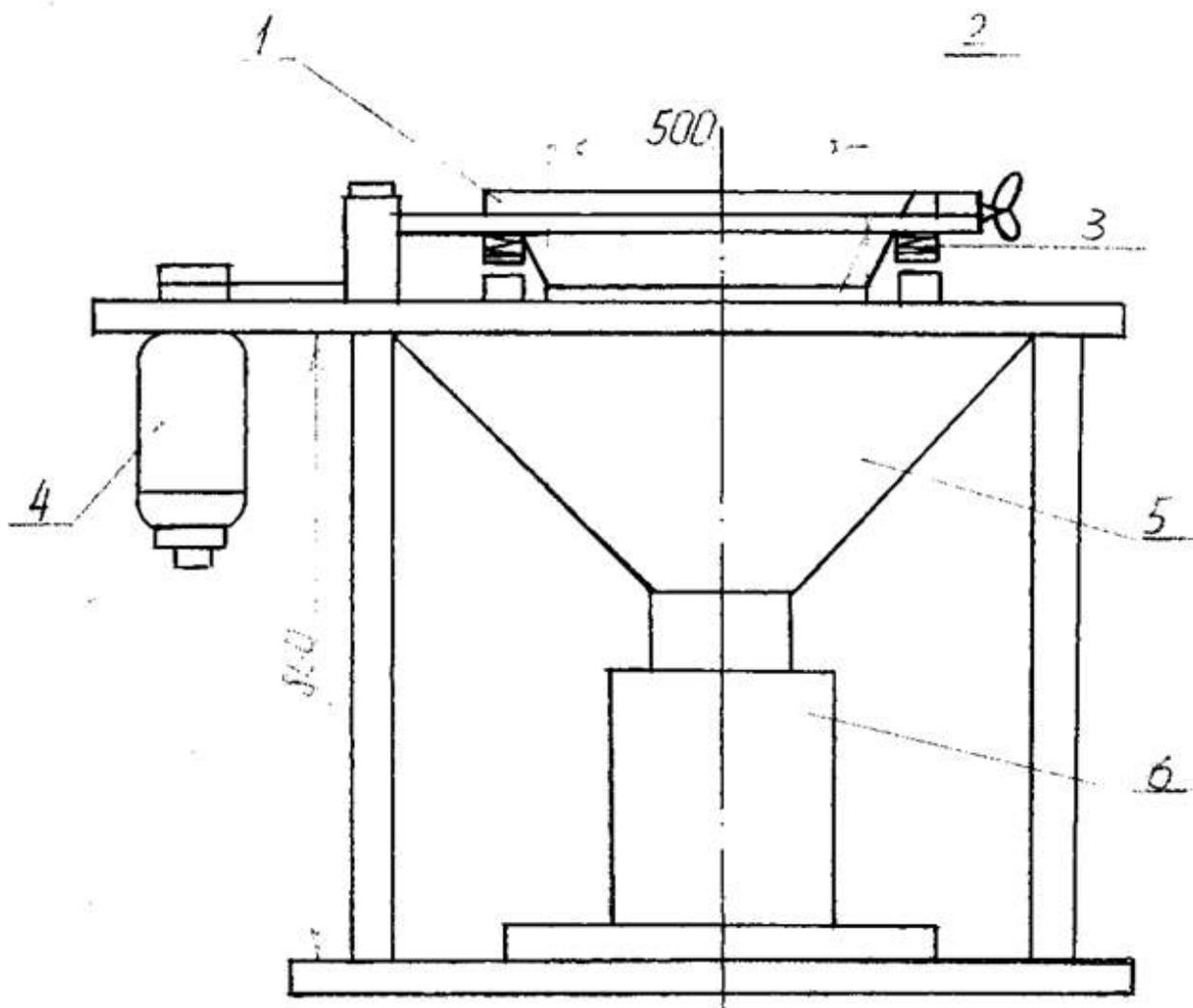


Рисунок 2 – Вибрационное сито ВС-2

- 1-обечайка
- 2-полотно
- 3-пружины
- 4-электродвигатель
- 5-воронка
- 6-приемный бачок

Производительность такого рода сит довольно высокая и зависит от диаметра обечайки. Сетки делают из бронзовой или латунной проволоки, шелка или капрона. Характеристика вибрационного сита представлена в таблице 10

Таблица 10. - Техническая характеристика вибрационного сита модели ВС-2

Основные показатели	Величина
Производительность, т/ч	0,250
Скорость вращения электродвигателя, об/мин	1410x2400
Род тока	переменный
	трехфазный
Напряжение, В	380
Мощность, кВт:	
потребляемая, не более	0,55
установочная	0,7
Габаритные размеры, м	1,2x0,75x1,2

С целью усреднения по химическому и гранулометрическому составу порошков различных партий и равномерного распределения элементов в многокомпонентных смесях порошки смешивают. Смешение порошков является важнейшей операцией порошковой металлургии, от которой зависят все дальнейшие стадии технологического процесса изготовления изделий и их физико-механические свойства.

Смещение - это приготовление однородной смеси из металлических порошков различного химического и гранулометрического состава или смеси металлических порошков с неметаллическими.

Пластифицирование смеси. В процессе смешения в шихту вводят пластификатор для уменьшения трения между частицами порошка и стенками пресс-формы в процессе прессования, что снижает давление прессования и способствует более равномерному распределению плотности изделия по объему. Количество смазки, вводимой в порошок не должно превышать одного процента и зависит от гранулометрического состава порошков и их насыпной плотности. В качестве смазки будем использовать стеарат цинка. Количество вводимой смазки должно быть минимальным поскольку при спекании смазка, испаряясь, засорит

печное пространство. Это может стать причиной вспучивания заготовок. С целью равномерного распределения смазок их вводят в шихту в виде растворов. В качестве растворителя используют четырех хлористый углерод или бензин. После испарения растворителя частицы материала оказываются равномерно покрытыми смазкой.

Для развески смешиваемых компонентов используют торговые или технические весы. Применим технические весы модели СВП-1500-10 (рисунок 3), характеристика весов дана в таблице 11, [6]

Таблица 11 – Техническая характеристика весов модели СВП-1500-1

Основные показатели	Величина
Наибольший предел взвешивания,	1500/600
Цена деления, гр	500/200
Размер платформы, мм	1250x1100
Цена, руб	20815

Для смешения применим конусный смеситель вместимостью 100 - 3000 л. и производительностью 50 - 1300 кг/ч, время смешения которых составляет от 1 до 2 часов, рисунок 4 [4]. Техническая характеристика такого смесителя дана в таблице 12.

Для загрузки порошковой шихты рассчитаем необходимую массу каждого порошка ,приходящуюся на рабочую емкость смесителя

Смесь в целом составляет 100% на рабочую емкость равную 0,9м³(таблица 12).

Порошок железа:

$$0,9\text{м}^3 - 100\%$$

$$V_{\text{Fe}} - 94\%$$

$$V_{\text{Fe}} = \frac{94 \cdot 0,9}{100} = 0,846\text{м}^3;$$

$$m_{\text{Fe}} = V_{\text{Fe}} \rho_{\text{н. Fe}} = 0,846 \cdot 2,6 = 2,2 \text{ т};$$

2. Порошок графита:

0,9 м³ – 100%

V_c - 0,8%

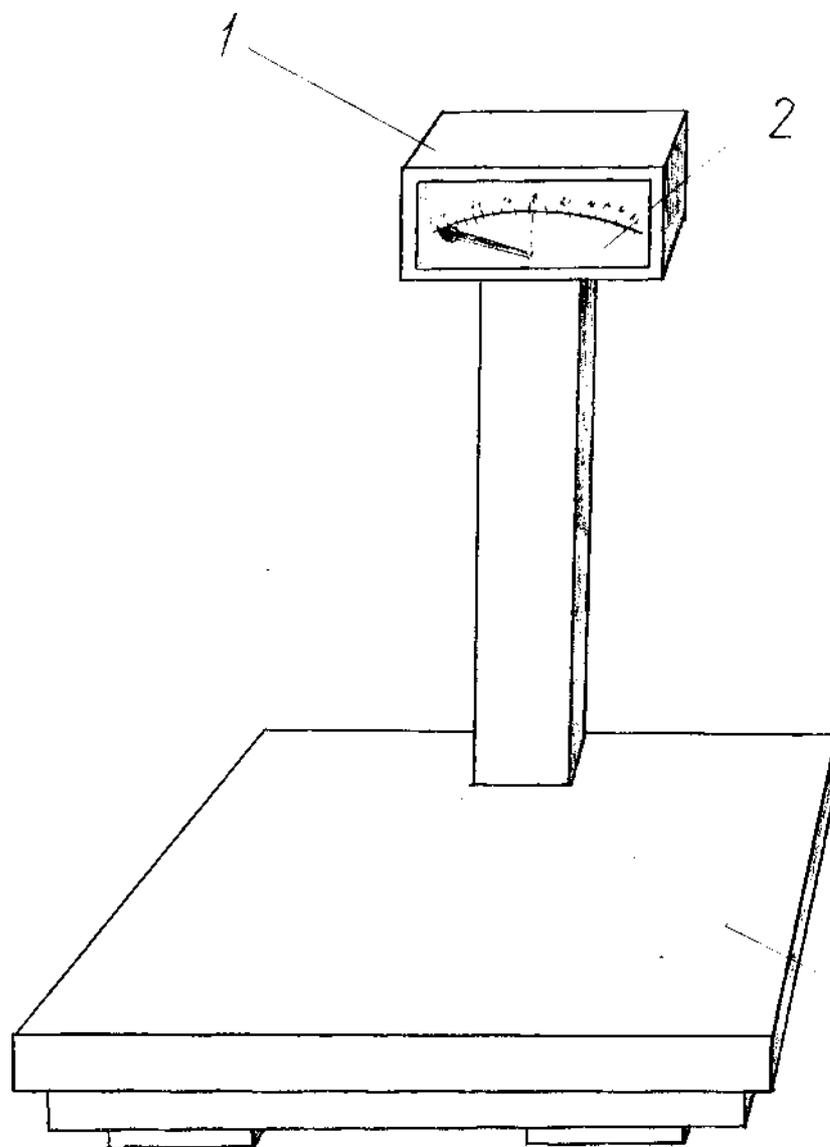


Рисунок 3 – Технические весы модели СВП-1500-10

1 – указательный прибор;

2 – циферблат;

3 – платформа;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ

Лист

19

Таблица 12 – Техническая характеристика конусного смесителя

Основные показатели	Величина
Емкость смесителя, м ³	
полная	3,0
рабочая	0,9
Единовременная загрузка, т	2,0
Время смешения, ч	1,5-20
Производительность, т/ч	1-1,3
Частота вращения, об/мин	15,20
Площадь, занимаемая смесителем, м ²	6,5
Масса смесителя, кг	3120

$$V_c = \frac{0,8 \cdot 0,9}{100} = 0,0072 \text{ м}^3;$$

$$m_c = V_c \cdot \rho_{н.с} = 0,0072 \cdot 0,4 = 0,00288 \text{ т};$$

3. Порошок медный:

$$0,9 \text{ м}^3 - 100\%$$

$$V_{Cu} - 4\%$$

$$V_{Cu} = \frac{4 \cdot 0,9}{100} = 0,036 \text{ м}^3;$$

$$m_{Cu} = V_{Cu} \cdot \rho_{н.Cu} = 0,036 \cdot 1,7 = 0,0612 \text{ т};$$

4. Порошок никелевый

$$0,9 \text{ м}^3 - 100\%$$

$$V_{Ni} - 1\%$$

$$V_{Ni} = \frac{1 \cdot 0,9}{100} = 0,009 \text{ м}^3;$$

$$m_{Ni} = V_{Ni} \cdot \rho_{н.Ni} = 0,009 \cdot 2,2 = 0,0198 \text{ т};$$

Таким образом, общая масса загружаемая в рабочую емкость смесителя составит:

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$m_{об} = 2,28 \text{ т}$

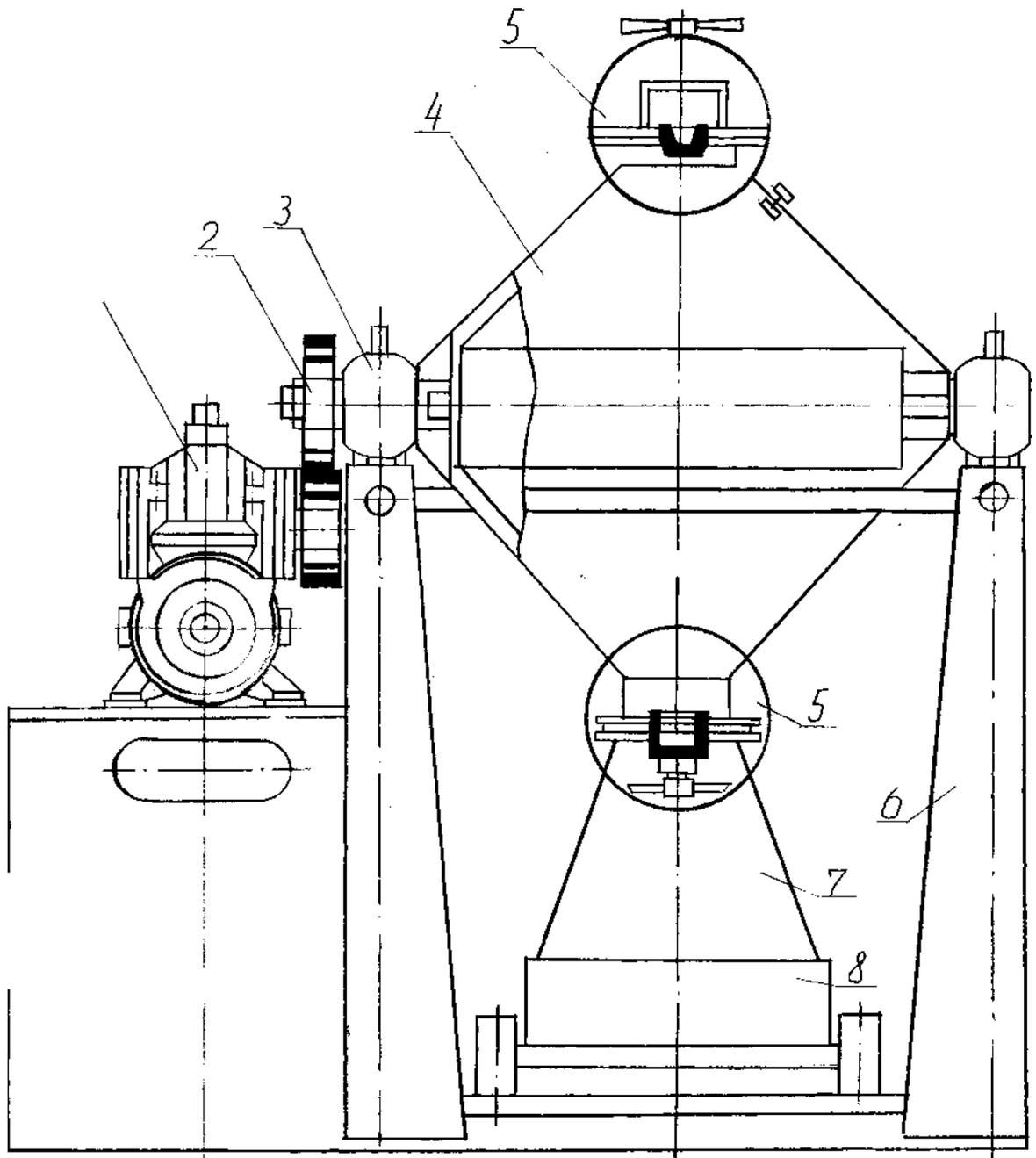


Рисунок 4 – Конусный смеситель;

1 – редуктор; 2 – передача;

3 – подшипник; 4 – корпус;

5 – крышка люка; 6 – стойка;

7 – разгрузочный бункер; 8 – тележка.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ

Лист

21

В общем случае, равномерное распределение частиц порошков в объеме смеси достигается тем легче и быстрее, чем ближе плотности смешиваемых компонентов. При большой разницы в плотностях наступает явление своеобразной сегрегации, то есть расслоение компонентов, и смешивание затрудняется (расслоение компонентов по плотностям может возникнуть и при длительном хранении приготовленной смеси). В этом случае полезно применить отдельную загрузку компонентов отдельными порциями сначала более легкие с частью какого-либо тяжелого, а затем всю оставшуюся массу компонентов. Как уже говорилось, смешение лучше проводить в жидкой среде.

Контроль смешенной шихты. Качество смешения порошков в производственных условиях контролируют по технологическим свойствам шихты, химическим анализом проб или по физико-химическим свойствам спеченных образцов.

Достоверность оценки свойств порошка во многом зависит от правильности отбора и подготовки представительной пробы. От контролируемой партии порошка отбирают общую пробу -совокупность всех разовых проб (до 3% массы металлического порошка из каждой единицы упаковки , подлежащей контролю). Масса представительной пробы должна быть достаточной для приготовления из нее всех проб, необходимых для испытаний, и еще некоторое количество (резерв на случай повторных, арбитражных и других испытаний).

Для отбора разовых проб вручную из стационарных единиц упаковки (банки, мешка) применяют щуп в виде трубки с открытым концом для опробования порошков с низкой текучестью. Диаметр трубки подбирают так, чтобы весь порошок, вдавившийся в трубку при ее погружение, остался бы в ней при извлечении труб из емкости с порошком. Щуп медленно вводят вертикально до днища емкости. Затем щуп медленно извлекают и его содержимое высыпают в сборник для общей пробы.

Точки отбора проб должны отстоять от борта упаковки с порошком не ближе чем на $1/3$ радиуса для упаковки круглой формы или окружности, вписанной в контур упаковки иной формы.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Представительную пробу приготавливают из общей пробы перемешиванием или последовательно пересыпая порошок не менее 10 раз, четырехкратно просеивая его через сито или применяя соответствующий конусный смеситель (рисунок 4). При необходимости после перемешивания представительную пробу сокращают методом квартования. Для этого порошок насыпают на чистую плиту конусом, нажимая пластинкой, уплотняет его на 1/4 высоты, а затем разделяют на четыре равные части с помощью крестовины с перпендикулярными ребрами, длина которых больше диаметра основания конуса из порошка. Для взятия пробы для испытаний используют порошок из двух противоположных секторов крестовин.

Шихта считается однородной в том случае, если не менее 95% произвольно взятых проб имеет химический и гранулометрический составы, отвечающие заданному.

После перемешивания и контроля исходных компонентов шихта выгружается в кювель, на который прикрепляется бирка с указанием марки материала, дата изготовления, фамилия рабочего. Шихта хранится в закрытой таре в отапливаемом помещении не более шести суток. Затем шихту транспортируют на участок прессования, загружают в бункер пресса, который налаживается по размерам и массе детали.

1.4 Прессование в пресс-форме

Прессование представляет собой формование металлического порошка в пресс-форме (рисунок 5) под воздействием давления. В результате деформирования начальный объем сыпучего порошкового тела уменьшается и формируется брикет называемый прессовкой с заданными формами, размерами и свойствами. Такое изменение первоначального объема происходит в результате смещения и деформации отдельных частиц и связано с заполнением ими пустот, образовавшихся при свободной насыпке порошка в пресс-форму.

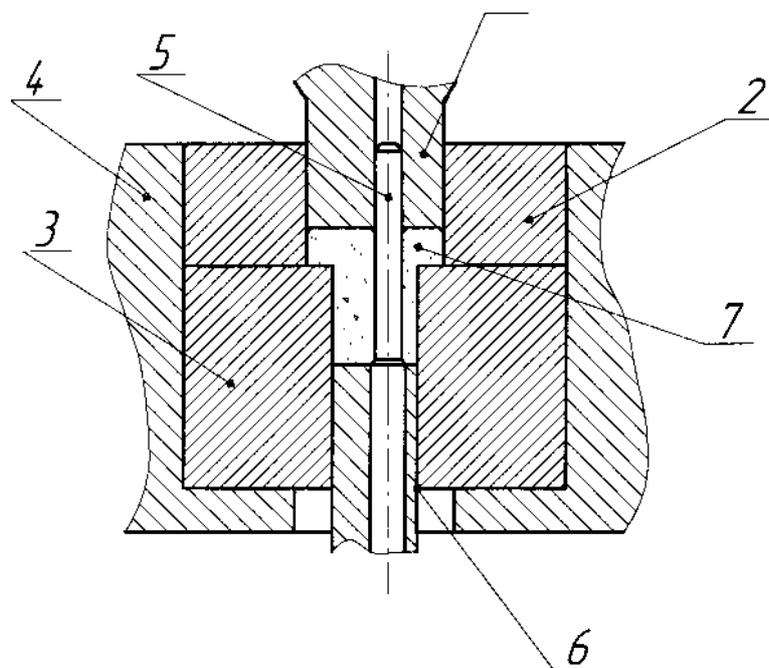


Рисунок 5. - Пресс-форма-

1- верхний пуансон;

2- вставка верхняя;

3- вставка нижняя,;

4- обойма матрицы

5- стержень;

6- нижний пуансон;

7- прессованное изделие..

При холодном прессовании порошков из конструкционных материалов различают три стадии:

1 стадия: при небольшом давлении прессования плотность значительно увеличивается, из-за перемещения частиц порошка относительно друг друга, которые заполняют промежутки и пустоты. Скорость перемещения всей массы частиц примерно равна скорости перемещения пуансона. Начинает проявляться неравномерность распределения плотности по высоте заготовки, потому что усилие прессования в основном идет на преодоление сил трения между частицами порошка. Происходит наиболее плотная упаковка порошка.

2 стадия: повышаются усилия прессования, большая часть которого идет на деформирование материала частиц и на преодоление сил трения заготовки от сте-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

нок пресс-формы. Разрушаются пленки оксидов и адсорбированной влаги на поверхности порошка. Качественно и количественно изменяется контакт между частицами появляются силы межатомного взаимодействия, возникают металлические связи, в результате происходит схватывание.

3 стадия: уплотнение за счет сил объемного сжатия и истечения материала частиц в межатомные поры.

Одним из основных требований, предъявляемых к конструкционным деталям, является равномерное распределение плотности по объему, поскольку прочность, твердость и работоспособность порошкового материала определяется соответствующими характеристиками наименее плотного сечения. Кроме того, неравномерное распределение плотности по объему заготовки приводит к концентрации напряжений, которые могут привести к появлению трещин, расслоению при прессовании, неравномерной усадке и короблению при спекании. Этим и обусловлена необходимость введения в шихту пластификатора. Таким образом, одной из основных задач при прессовании в пресс-формах, является получение заготовок с возможно равномерной плотностью по объему. Чем выше пористость заготовки, тем больше изменяются ее размеры при спекании. Если заготовка имеет различную плотность по объему, то, вследствие различной усадки порошковое изделие будет иметь искаженную форму, либо к разрушению менее плотной части заготовки.

Для прессования изделий из металлических порошков используют пресс-автоматы. Основной серией является серия КА.

Прессование будем производить на пресс-автомате модели КА8130 (рисунок 6), характеристика которого представлена в таблице 13 [5]. Пресс-автомат данной серии выбран по усилию пресса равному 1000 кН (раздел 3), и исходя из основных расчетов, приведенных в разделе 2. Данный пресс-автомат предназначен для получения главным образом изделий конструкционного назначения с высокой чистотой поверхности и размером по второму и третьему классу, в том числе из различных смесей порошков металлов, обеспечивающих повышенную износоустойчивость, твердость, жаропрочность изделий и не

требующих практически механическую обработку после спекания. По конфигурации эти изделия могут быть как простыми, так и сложными.

Такие изделия находят применение в автомобильной, сельскохозяйственной, электротехнической, машиностроительной промышленности.

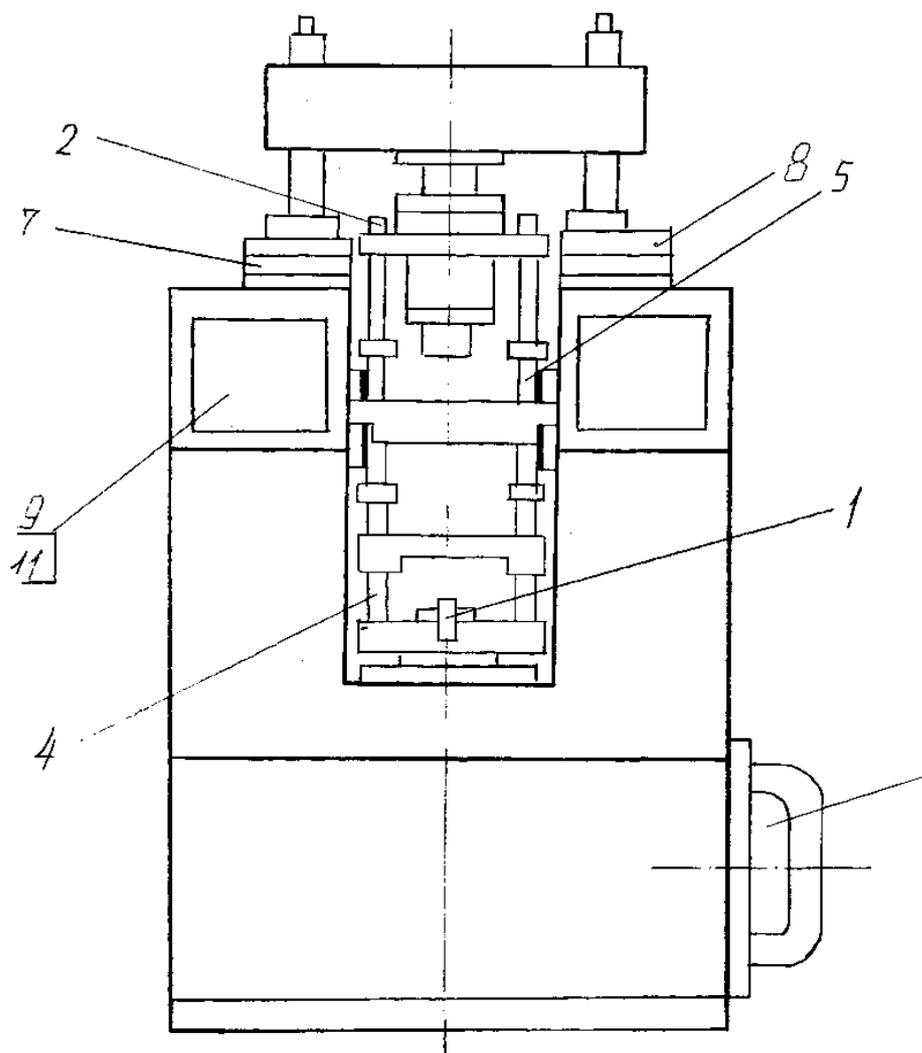


Рисунок 6- Общий вид пресса-автомата КА8130

- 1- центральный стержень;
- 2,3,4,5 – колонки прессующего блока;
- 6- подшипники опоры маховика;
- 7,8 – цилиндры подпоры матрицы;
- 9,10,11- втулки привода питателя.

Данный пресс-автомат имеет нижнее расположение привода. Извлечение изделия из матрицы осуществляется выталкиванием. Выбор наиболее

оптимального режима прессования для определенных видов изделий осуществляется бесступенчатым регулированием частоты ходов. Загрузка порошка в матрицу из бункера осуществляется через гибкий рукав и кассету; загрузка, а также удаление прессуемых изделий из зоны прессования механизирована.

Таблица 13 – Техническая характеристика пресса-автомата модели КА8130

Основные показатели	Величи
Номинальное усилие ,кН	1000
Наибольшая высота засыпки порошка в матрицу, мм	180
Наибольший диаметр изделия в плане, мм	125
Ход прессующей головки, мм	265
Частота ходов прессующей головки, об/мин	5-10
Усилие выталкивания, кН	300
Суммарная мощность привода, кВт	26,5
Габариты, мм	1800x2
Масса, т	15,5

Прессы автоматы серии КА с нижним приводом выполняют следующие операции:

- засыпку порошка из бункера в кассету питателя,
- перенос порошка кассетой к матрице;
- заполнение матрицы порошком;
- прессование изделия,
- выталкивание изделия из матрицы;
- сталкивание прессованного изделия на лоток.

Из изложенных выше выполняемых на прессе-автомате операций, можно сделать вывод, что рациональнее использовать пресс-автомат, а не механический пресс, возможности которого ограничены в порошковой металлургии

Рассмотрим подробно схему прессования детали "Ось натяжного ролика", она состоит из шести стадий.

1 стадия: в исходном положении прессующая головка находится в верхнем положении (рисунок 8). При этом выталкиватель находится в верхнем положении и кассета находится над матрицей. При включении прессы выталкиватель опускается при этом нижний пуансон вместе со стержнем входят в матрицу на $h'_{\text{НП}}=10$ мм. Общая высота матрицы равна 108 мм (раздел 2.3).

2 стадия: въезжает кассета-питатель, которая заполняет полость матрицы порошком, (рисунок 9).

3 стадия: по окончании хода выталкиватель садится на упоры. В это время кассета движется вперед (передвигая готовое изделие в тару), затем воздухораспределитель подает воздух в нижнюю полость цилиндра центрального стержня. Центральный стержень перемещается вверх и выталкивает избыток порошка, (рисунок 10). Кассета отводится назад захватывая остаток порошка, (рисунок 11).

4 стадия: верхний пуансон подходит к матрице и входит в нее на $h_{\text{ВП}}$ (рисунок 12), равное:

$$h_{\text{ВП}} = H_1 - h_1;$$

где H_1 – высота слоя порошка в матрице, рассчитанная для объема V_1 (раздел 2.3), $H_1=21$ мм;

h_1 – высота, которую формирует верхний пуансон $h_1 = 7$ мм, после выпрессовки в результате упругих последствий прессовка расширяясь, приобретает другие размеры $h'_1 = 7,27$ мм $\approx 7,3$ мм (рисунок 7);

Таким образом:

$$h_{\text{ВП}} = H_1 - h_1 = 21 - 7 = 14 \text{ мм}$$

Одновременно перемещается и нижний пуансон на высоту $h_{\text{НП}}$, равную:

$$h_{\text{НП}} = H_M - H_1 - h'_{\text{НП}} - (h_2 - h_1);$$

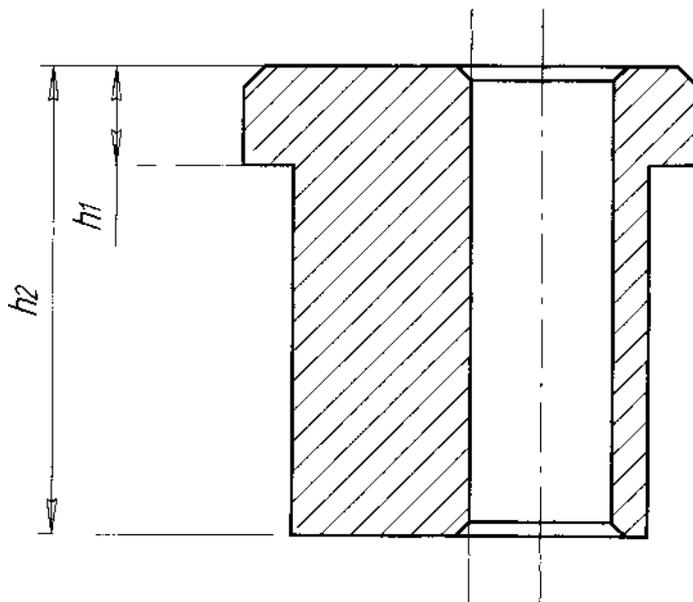


Рисунок 7

Где H_M – общая высота матрицы, равная:

$$H_m = H_2 + h'_{\text{нп}};$$

Где H_2 – высота слоя порошка, рассчитанная для объема V_2 , $H_2 = 98$ мм;

$h'_{\text{нп}}$ – высота захода нижнего пуансона в момент засыпки порошка, $h'_{\text{нп}} = 10$ мм;

$$H_m = H_2 + h'_{\text{нп}} = 98 + 10 = 108 \text{ мм};$$

h_2 – высота, которая формируется нижним пуансоном, $h_2 = 33$ мм, в результате упругого последействия прессовка, расширяясь, приобретает другие размеры, $h'_2 = 34,3$ мм;

$$h_{\text{нп}} = H_M - H_1 - h'_{\text{нп}} - (h_2 - h_1) = 108 - 21 - 10 - 33 + 7 = 51 \text{ мм};$$

5 стадия: при обратном ходе прессующей головки блок матрицы, выталкиватель и центральный стержень движется вверх пока блок матрицы не дойдет до верхних упоров после этого начинается выталкивание изделия. Одновременно воздухораспределитель переключает центральный стержень на ход вниз, но увлекаемый силой трения центральный стержень продолжает перемещаться вверх вместе с деталью, пока последняя не выйдет из матрицы (рисунок 13).

6 стадия: изделие расширяясь, освобождает центральный стержень, и он идет вниз (рисунок 14). Рамка кассеты-питателя при ходе вперед сталкивает

изделие и одновременно заполняет полость матрицы. Выталкиватель вместе с центральным стержнем идут вниз, а затем цикл повторяется, (рисунок 15).

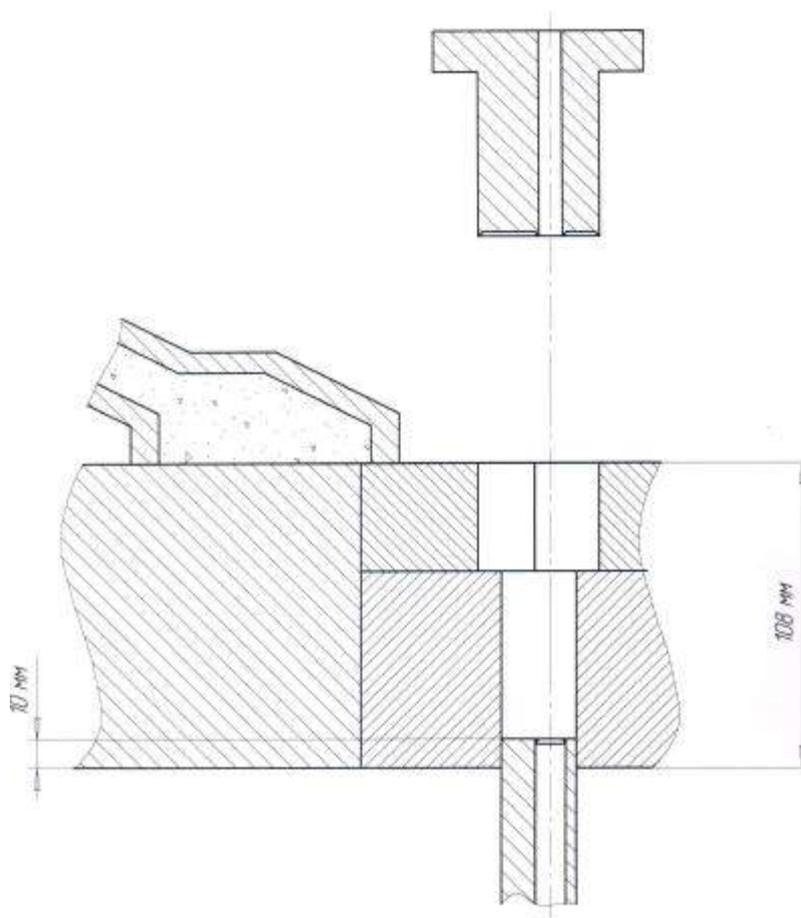


Рисунок 8 – Первая стадия: исходное положение

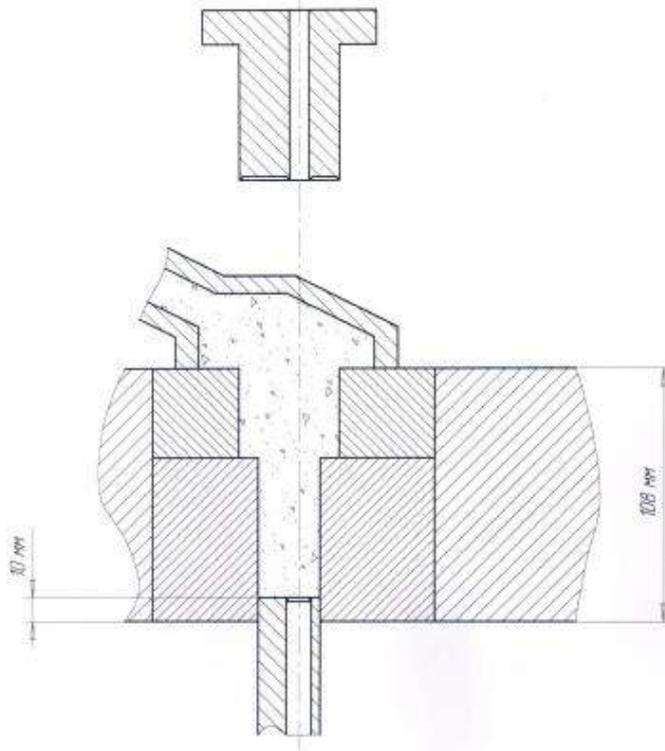


Рисунок 9 – Вторая стадия: заполнение полости матрицы порошком

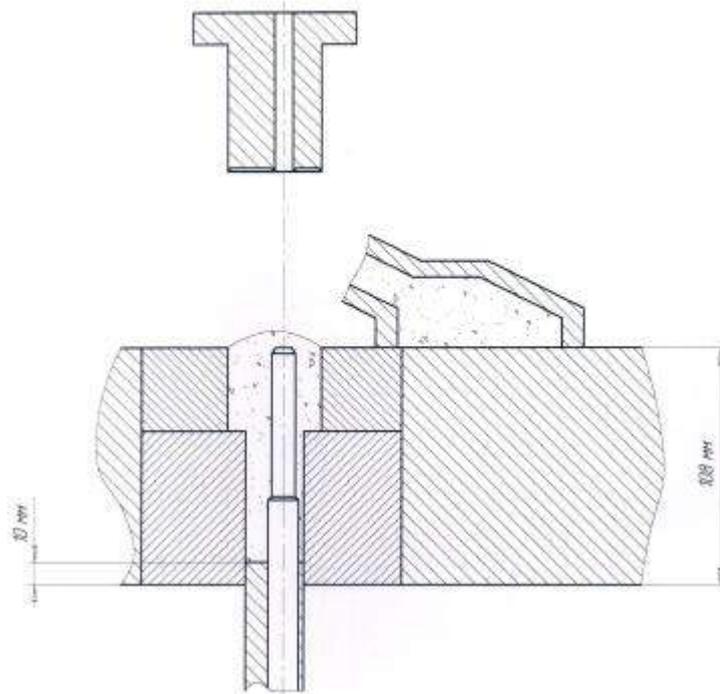


Рисунок 10 – Третья стадия: перемещение центрального стержня вверх и выталкивание избытка порошка

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

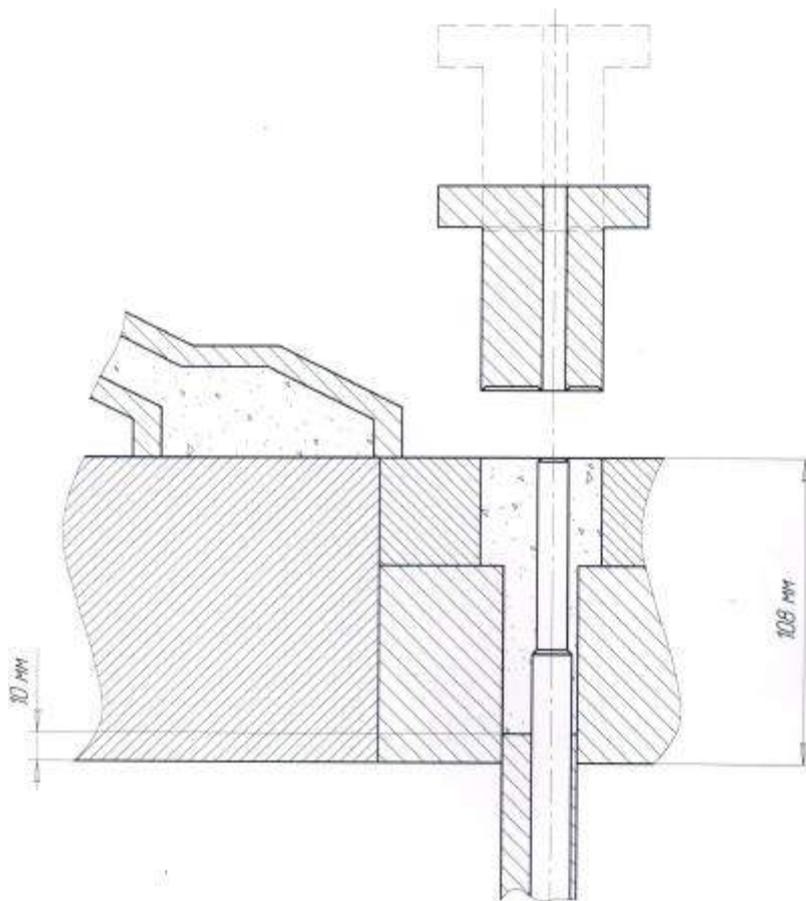


Рисунок 11 – Третья стадия: отвод кассеты-питателя

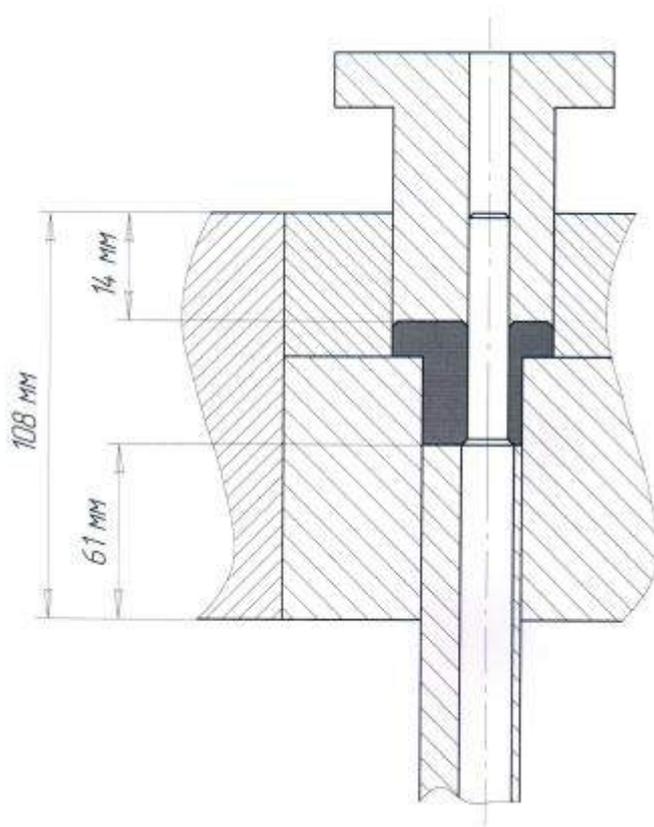


Рисунок 12- Четвертая стадия: прессование

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	
					Лист	32

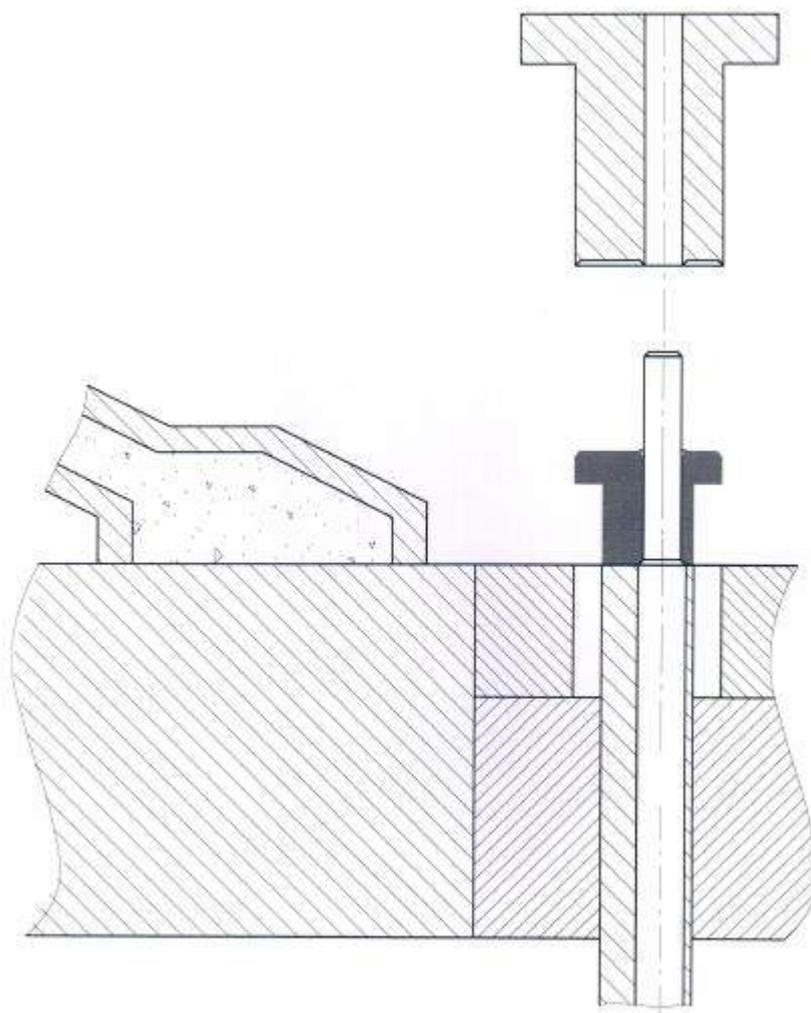


Рисунок 13 – Пятая стадия: выпрессовка, перемещение центрального стержня вверх, подвод кассеты-питателя

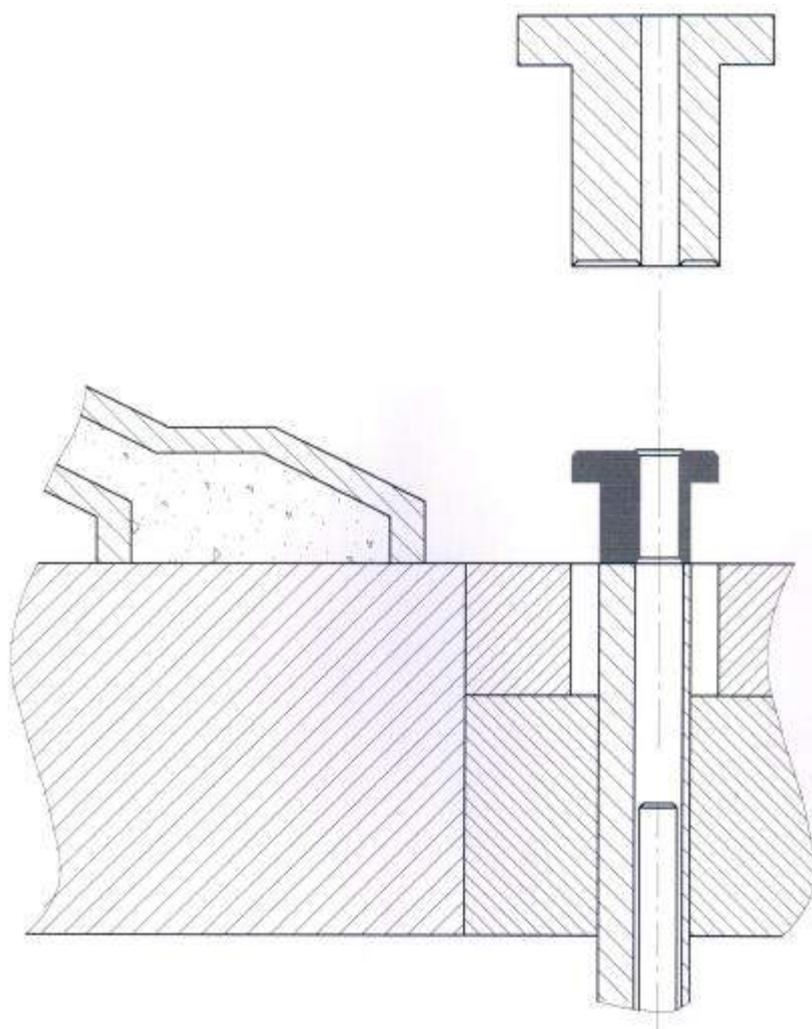


Рисунок 14 – Шестая стадия: центральный стержень, освобождаясь, перемещается вниз

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ

Лист

34

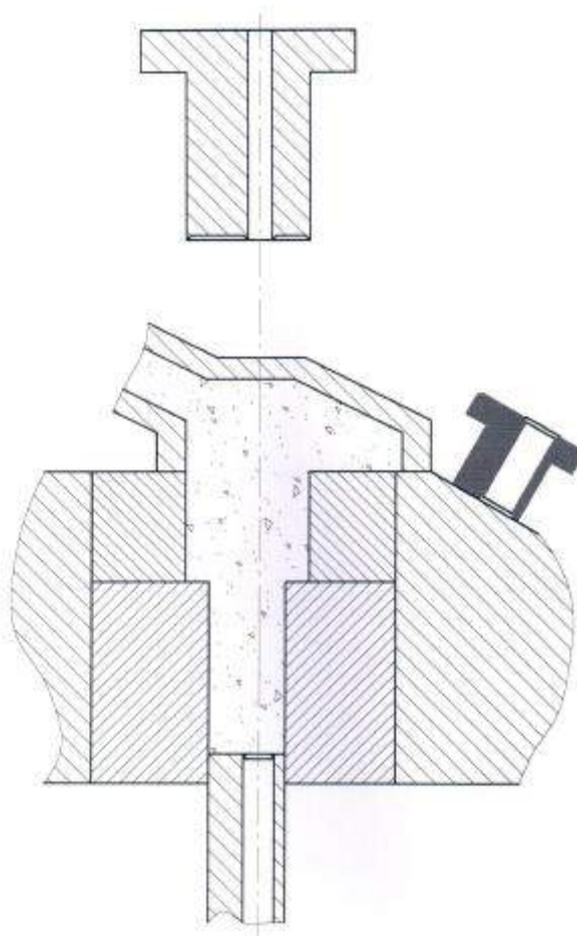


Рисунок 15 – Шестая стадия: подвод кассеты-питателя, заполнение матрицы порошком и сталкивание изделия в тару

1.5 Контроль прессования

Прессовщик контролирует после изготовления первых заготовок высоту детали, визуально - отсутствие трещин, расслоений, осыпания кромок.

Обычно первые заготовки разрушают. Если заготовка очень плотная и расслоение её при разрушении происходит перпендикулярно к приложенному давлению, то навеску необходимо уменьшить, если прессовка рыхлая, навеску необходимо увеличить. Для изготовления деталей "Ось натяжного ролика" навеска должна быть равной : $M_n = 112$ гр, (раздел 2.2).

У прессовки контролируют размеры с помощью микрометра Отклонение размеров не должно превышать 0,01 мм.

1. Высотные размеры 34,3 мм, 7,3 мм- контролировать через каждые пять минут.

2. Размеры, которые определяются штангенциркулем: высота - 1,56, диаметры $\varnothing 29,3$ мм, $\varnothing 24,49$ мм; и размеры 36,4 мм, 31,45 мм контролировать 1-2 раза в смену (рисунок 16).

Эти параметры должен контролировать рабочий и ОТК согласно чертежу.

После прессования могут образовываться следующие виды брака таблица 14[3]

Таблица 14 – брак при прессовании

Вид брака	Причина	Меры устранения
1 Расслой	повышенное давление прессования, упругая деформация матрицы	Уменьшить давление прессования, увеличить жесткость матрицы
2.Образование трещин в спрессованных деталях	Резкие переходы сечений, неравномерная плотность в разных частях прессовки	Обеспечить плавность переходов за счет радиусов и фасок, выбрать нужную схему прессования. Обеспечить наличие конуса на матрице
3.Трещины на поверхности	Отсутствие на матрице конуса для выпрессовки.	Изготовить на матрице конус для выпрессовки
4. Риски на поверхности детали	Неудовлетворительное качество поверхности матрицы	Отполировать поверхность матрицы, сохраняя допустимые размеры
5. Сколы и осыпания на торцах детали	Плохая обработка рабочей поверхности пуансонов	Отшлифовать, отполировать или заменить пуансоны.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ

Лист

36

Продолжение таблицы 14

6. Образование заусенцев	Выработка торцевых кромок пуансонов	Отшлифовать торцы пуансонов, заменить пуансоны.
7. Отклонение по плотности спрессованных изделий	Неправильный расчет навески нарушение дозировки шихты, неверный выбор схем прессования, не отрегулировано положение формующих пуансонов	Скорректировать массу, отрегулировать привод дозатора, выбрать правильную схему прессования, отрегулировать положение формующих пуансонов

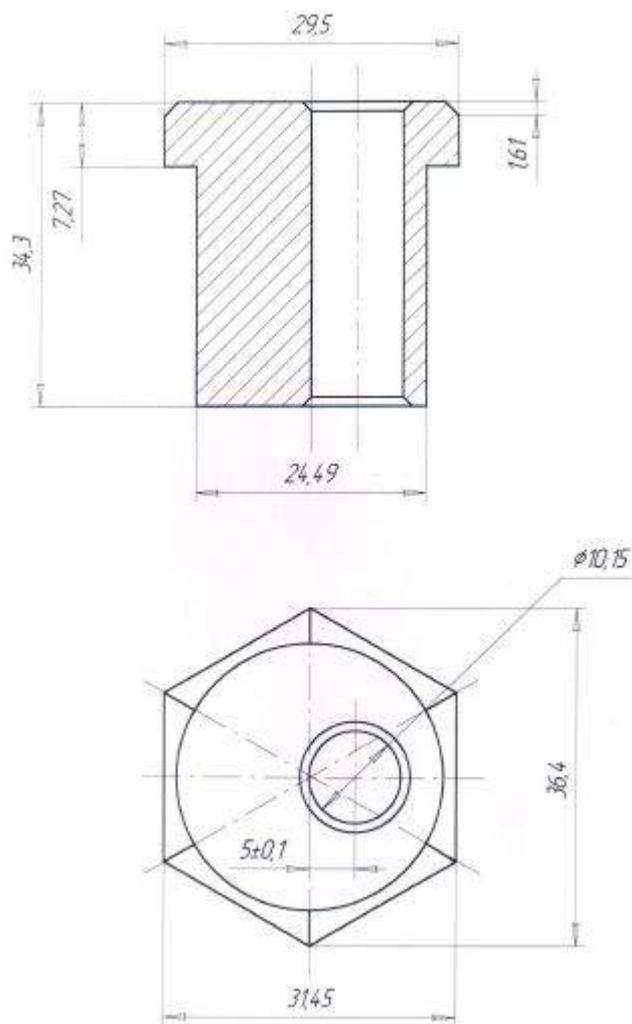


Рисунок 16 – Спрессованное изделие

Бракованные детали после прессования размалываются и измельчаются в порошок на молотковых, щековых, дискозубчатых и других дробилках и окончательно - в шаровых мельницах. После просева через требуемое сито полученный порошок добавляется к основному в количестве 10 - 15 %.

1.6 Спекание

Спекание - это вид термической обработки, которой подвергаются спрессованные изделия с целью придания им требуемых физико-механических свойств. Характерной особенностью спекания является то, что оно осуществляется без расплавления основного компонента шихты, при температуре 0,7 - 0,9 от температуры плавления данной составляющей. За критерий спекаемости порошковых тел принимают характеристики прочности или

пластичности, плотность, электросопротивление и другие свойства полученных материалов [3].

Деталь изготавливается из многокомпонентной смеси Fe - C – Cu – Ni. Такое спекание протекает в твердой фазе, при этом происходят сложные физико-химические процессы восстановления и диссоциация окисных пленок, удаление адсорбированных паров и газов, диффузионные перемещения атомов, перенос металла через газовую фазу. Данная система относится к системам с ограниченной растворимостью - процесс определяется главным образом преобладающим компонентом шихты.

Параметры спекания: температура спекания 1150°C,
 время выдержки - 1,5-2 часа;
 защитная атмосфера - водород.

Таблица 15. - Химический состав газов, применяемых в качестве защитной атмосферы, при спекании

Газ	H_2	O_2	N_2	H_2O	NH_3	CO	CO_2	CH_4	Сравнительная стоимость, %
Водород	99,8	0,2	—	0,5	—	—	—	—	100

В порошковой металлургии для спекания изделий массового производства широко используют печи непрерывного действия. В нашем случае использовать толкательную электропечь модели СТН – 2,45.2,0/11,5, характеристика которой дана в таблице 16, (рисунок 17).



Рисунок 17 – Толкательная электропечь

Определим следующие величины: количество заготовок, находящихся в одной лодочке для спекания, количество лодочек, производительность печи, такт загрузки и извлечения лодочек. Расчеты и выводы будем определять в соответствии с линейными размерами спрессованного изделия, (рисунок 18).

Размеры рабочего пространства: $L=2500\text{мм}$, $B=200\text{ мм}$, $H=200\text{ мм}$.

Размеры лодочки для спекания: $l=250\text{ мм}$, $b=180\text{ мм}$, $h=165\text{ мм}$, толщина стенки лодочки $\delta=10\text{ мм}$, (рисунок 18)

В направлении ширины лодочки уложим **4** заготовки в шесть рядов, учитывая между заготовками зазор $2,5\text{ мм}$ по ширине и $7,5\text{ мм}$ в длину, таким образом получим **20** заготовок. По высоте уложим их в четыре слоя, учитывая толщину графитовой пластины - 5 мм . Общее количество заготовок, находящихся в одной лодочке, равно - **80** штук.

В печи одновременно может находиться **16** лодочек.

Таблица 16. Техническая характеристика толкательной печи марки СТН-2,45.20/11,5

Основные параметры	СТН-
Максимальная рабочая температура, К	1423
Установленная мощность, кВт	36
Напряжение питающей сети на нагревателях, В	380
Частота тока, Гц	50
Число фаз	1
Число рабочих камер	1
Число Тепловых зон	3
Материал электронагревателя	Мо проволока Ø1,5мм
Защитный газ	Н или азотоводородная
Расход, м ³ /ч	
газа	2
азота при продувке	—
Воды для охлаждения	1
Размеры рабочего пространства (ахbхh), мм:	4000х200х200
Наружные размеры графитовой лодочки (ахbхh) мм:	300х180х150
Габаритные размеры печи (ахbхh), м:	7,1х1,3х2,1
Длина зоны спекания, мм:	2500
Масса, т	3,9

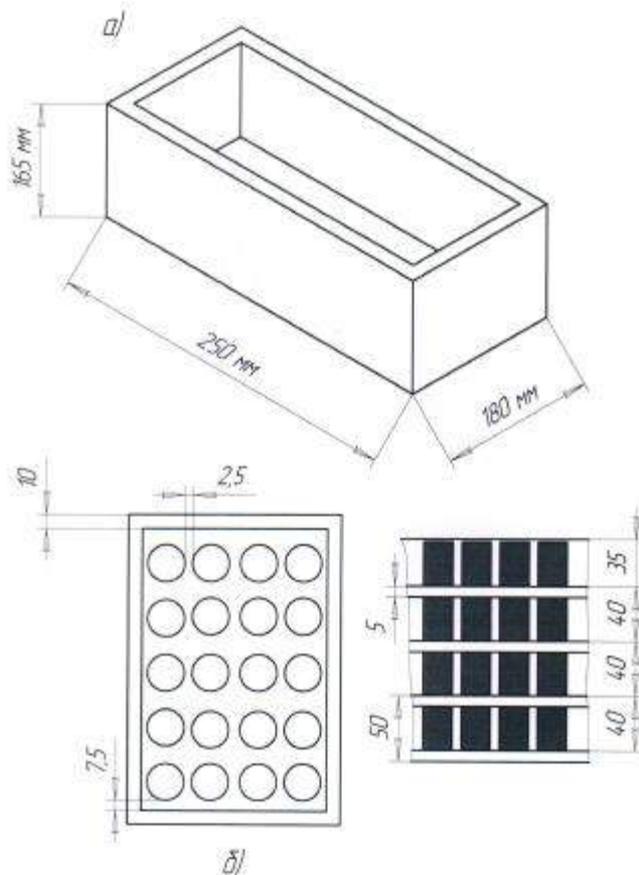


Рисунок 18 – а) эскиз лодочки толкательной печи

б)расположение деталей в лодочке

За время - 120 минут проходит 10 лодочек, то есть через $120/10=12$ минут, погружаем лодочку в рабочее пространство печи и соответственно извлекаем из нее.

Итак, каждые 12 минут мы получаем - 80 спеченных изделий. Таким образом производительность нашей печи составит - 7 спеченных заготовок в минуту ($180/72=6,7 \approx 7$).

Температура в печи проверяется 1 раз в сутки контрольной термопарой, точка росы - не менее 1 роза в сутки

1.7 Контроль спеченного изделия

Детали, извлеченные из печи, выгружаются из лодочек в тару и подвергаются визуальному контролю.

Не допускается оплавления, трещины, окисление свыше 50% площади поверхности детали. Растрескивание, наличие пузырей, вздутий (из-за

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

завышенной температуры спекания), коробление изделия (при высокой скорости нагрева), наличие корочки на поверхности (большое давление прессования).

Через каждые 100 штук спеченных изделий необходимо измерять на рабочем месте массу изделия $M=118,3$ гр , и высоту изделия $h = 34,32$ мм.

Необходимо контролировать твердость по Бринеллю, которая должна составлять: НВ 2,5/6,5/30-600-1100 МПа

ОТК должен контролировать все размеры всех спеченных изделий согласно чертежу, (рисунок 19).

Также 2-3 раза в смену проверять все размеры спеченного изделия, плотность и пористость.

Плотность и пористость спеченного изделия, как и спрессованного, определяется по ГОСТ 18898-73 расчетным и гидростатическим методом. Образец взвешивают в воде с погрешностью не более $0,01 \times 10^{-3}$ г/мм³. За показатель плотности партии принимают среднее арифметическое значение, округленное до $0,01 \times 10^{-3}$ г/мм³

После спекания могут появиться следующие виды брака:

Таблица 17 – брак при спекании[3]

Вид брака	Причины	Методы
Недопекание - низкие значения свойств деталей	Нарушение режима спекания (снижение температуры)	Повторное спекание
Пережог растрескивание оплавление, пузыри и вздутия на поверхности деталей	Превышение температуры спекания	Снижение температуры до заданной

Продолжение таблицы 17

Окисление деталей	Нарушение состава защитной атмосферы	Повторное спекание в восстановительной атмосфере, иногда брак неисправим
Коробление деталей	Неравномерная плотность прессовок, высокая скорость подъема температуры, большое отношение длины и ширины детали к толщине	Горячая или холодная деформация бракованных деталей, снижение скорости нагрева спекание под давлением.
Обезуглероживание	Повышенное содержание боды и углекислого газа в защитной атмосфере	Использование защитных углеродосодержащих засыпок металлические или графитовые крышки на лодочках
Скрытый расслой	Образование трещин на стадии прессования	Устраняется на стадии прессования
Корочка	Разложение вводимых в шихту смазок и связок	Применение засыпок, медленный и равномерный нагреб деталей, увеличение расхода защитного газа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ

Лист

36

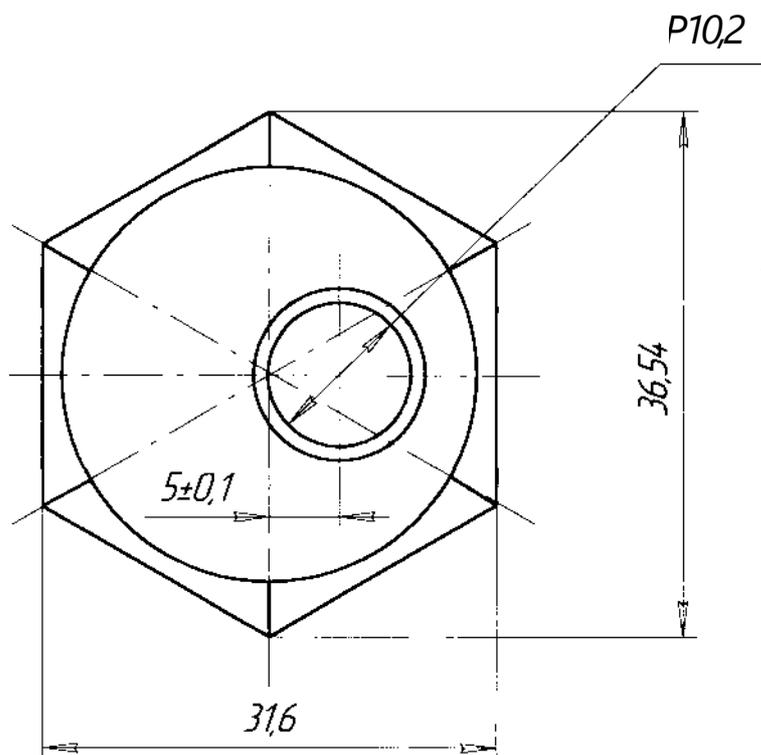
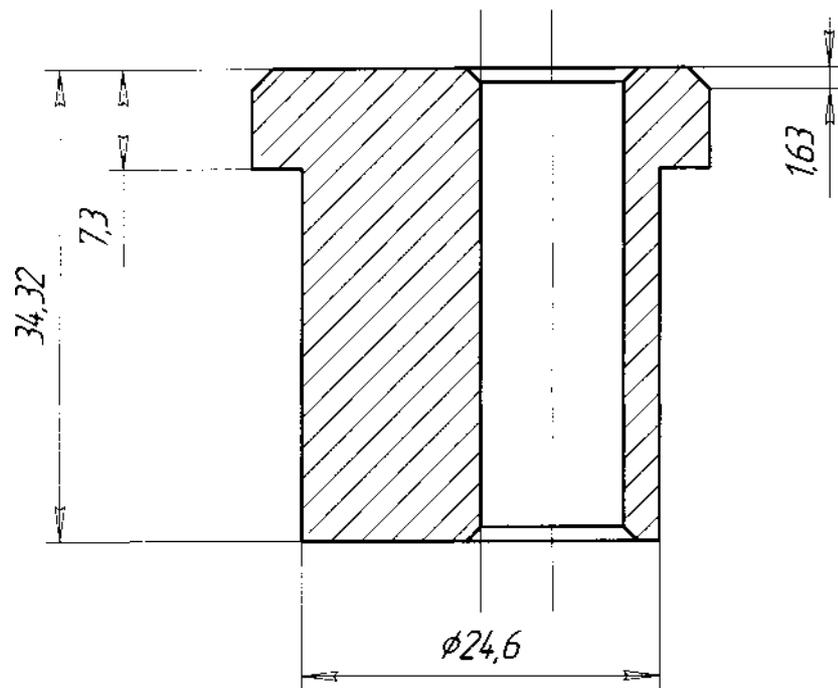


Рисунок 19 - Спеченное изделие

Бракованные спеченные детали подлежат переработке в виде кускового лома соответствующих по химическому составу материалов. После контроля в тару укладывается бирка с указанием обозначения детали, количества, даты спекания, фамилии рабочего. Тара транспортируется на участок калибрования.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ

Лист

37

1.8 Калибрование

Калибрование заключается в обжати спеченной детали для получения требуемых размеров и качества поверхности. Оно обеспечивает получение изделий с размерами класса точности 2-4 и поверхностью класса чистоты 7-8. Кроме того, калибрование способствует улучшению физико-химических свойств изделий и в особенности поверхностного слоя. Калибрование будем проводить по высоте, по наружной поверхности формируя буртик на верхней части детали ,представляющий в сечении окружность диаметром $\varnothing 30$ мм, высотой $h = 1$ мм, а также формируя фаску на днище детали высотой $h = 1$ мм.

Детали калибруют на механических прессах при усиллии 10 -30 % от усиллия их формования.

Калибрование детали " Ось натяжного ролика " будем производить на пресс-автомате модели КА0424 в специальной калибровочной пресс-форме. Характеристика пресс-автомата модели КА0424 дана в таблице 18,(рисунок 20).

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

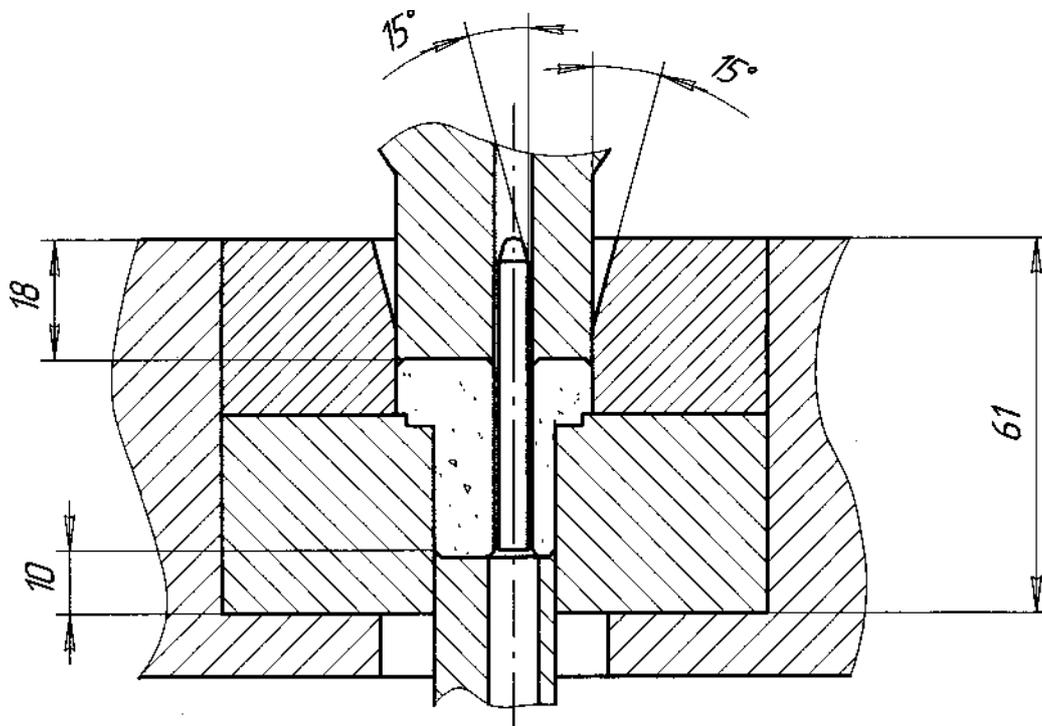


Рисунок 20. - Пресс-форма для калибрования:

- 1- верхний пуансон;
- 2- вставка берхняя;
- 3- вставка нижняя;
- 4- обойма матрицы;
- 5- стержень;
- 6 - нижний пуансон,
- 7 - калиброванное изделие

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ

Лист

39

Таблица 18 – техническая характеристика пресса-автомата модели КА0424

Основные показатели	Величина
Номинальное усилие, кН	250
Наибольший диаметр изделия в плане, мм	60
Ход калибрующей головки, мм	150
Частота ходов калибрующей головки, мин ⁻¹	20-45
Усилие выталкивания, кН	125
Ход выталкивателя, мм	60
Ход "плавающей" матрицы, мм	10
Регулировка положения верхнего пуансонодержателя, мм	30
Суммарная мощность привода, кВт	10,0
Габариты, мм	1600x2400x3
Масса, т	4,64

1.9 Контроль калибрования

После проведения операции калибровка необходимо измерить следующие параметры, (согласно чертежу детали, приложение А):

- массу готового изделия, $M_r = 111,51$ г;
- высоту изделия $h = 33$ мм;
- плотность и пористость изделия $\rho_r = 6,9$ т/м³

Браки возможные при калибровании даны в таблице 19.

Таблица 19 – Брак при калибровании порошковых деталей

Вид брака	Причины	Меры устранения
1.Неполное заполнение формы	Занижение массы заготовки	Увеличить массу заготовки

Продолжение таблицы 19

2. Образование заусенцев	Завышение массы заготовки. Выработка торцовых кромок пуансонов	Уменьшить массу заготовки. Отшлифовать торцы пуансонов, заменить пуансоны
3. Фестонистость от-крытого торца детали	Смещение пуансона относительно матрицы	Отрегулировать положение пуансона
4. Образование трещин на переходах	Резкие переходы сечений	Обеспечить плавность переходов за счет радиусов фасок; выбрать нужную схему выдавливания
5. Продольные трещины при высадке и осадке	Завышение высоты калибрующего пояска инструмента Недостаточная пластичность	Уменьшить высоту пояска, снизить степень деформации.
6. Поперечные трещины и задиры	Плохое качество смазки Неудовлетворительное качество поверхности	Улучшить качество смазки

После контроля калиброванных деталей, детали укладываются в тару и транспортируются на участок упаковывания готовых изделий. Упакованные детали укладывают в тару вместе с упаковочным листом, где указывают завод-изготовитель и получателя, обозначение, наименование и количество изделий, массу нетто и брутто, дату упаковки, ставится клеймо ОТК и подпись упаковщика. Тара с деталями транспортируется на склад готовой продукции

1.10 Организация рабочего места и технологическая карта технологического процесса при производстве детали “Ось натяжного ролика”

На данном этапе разработки технологического процесса необходимо выбрать и обосновать схему организации рабочего места.

Рабочим местом следует считать определенный участок производственной площади, предназначенный для выполнения определенной работы рабочим или бригадой и оснащенный соответствующим оборудованием, технологической оснасткой и вспомогательным устройством. Организация рабочего места состоит в оснащение его всем необходимым оборудованием и оснасткой, рациональным его размещением на площади с учетом требования современного производства, научной организацией труда и техникой безопасности.

Схема организации рабочего места зависит от вида и размеров заготовки, полуфабрикатов и готовой детали, типа производства и степени механизации ручных работ, типа и мощности устанавливаемого оборудования. Схема организации рабочих мест показана на рисунке 22.

Исходный материал 1, в упаковке, поступает по транспортеру 2 на участок приготовления шихты 3. На столе 4 - порошок извлекают из упаковки, проводят контроль исходных порошков железа, меди, графита и никеля. Затем просеивают на вибросите (ВС-2) 5. Затем подают на развеску. Взвешивают порошки на бесах 6 (СВП-1500-10), после чего смешивают все порошки в определенных дозах в конусном смесителе 7. По транспортеру 8 готовая шихта 9 поступает в вибробункер 10 пресса - автомата 11 (модель КА8130). Прессование осуществляется с помощью пресс-блока 12. Спрессованные заготовки кассета-питатель сталкивает в лоток, откуда они поступают на транспортер 13. Затем рабочий - контролер осматривает заготовки на столе 15 - бракованные заготовки укладывают в тару 14, а готовые на стол 16. Рабочий, стоящий на у стола 16, укладывает изделия в лодочку 18 (80 шт) и отправляет по транспортеру 17 в печь модели СТН-2,45.2,0/11,5. Происходит спекание спрессованных заготовок (участок спекания).

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Спеченные детали в лодочках поступают на стол 20. Рабочий извлекая спеченные детали подает их на стол 21, где производится контроль спеченных заготовок; бракованные заготовки укладываются в тару 22.

Робот-вариатор 23 с помощью захвата 24 снимает заготовки со стола 21 и устанавливает заготовку в пресс-блок 26 пресса-автомата для калибровки 25. После установки заготовки, плечо робота манипулятора автоматически уменьшается, тем самым освобождая штамповое пространство. Происходит операция калибровки и выталкивание изделия из штампа. После изделие смещается со штампа с помощью захвата 24 робота-вариатора 23 и переносит на стол 27, где происходит контроль готового изделия. Робот возвращается в первоначальное положение. Бракованные изделия поступают в тару 28, а готовые по транспортеру 29 - на участок упаковки 30.

Все операции, оборудование и технологические режимы изготовления детали представлены в таблице 20.

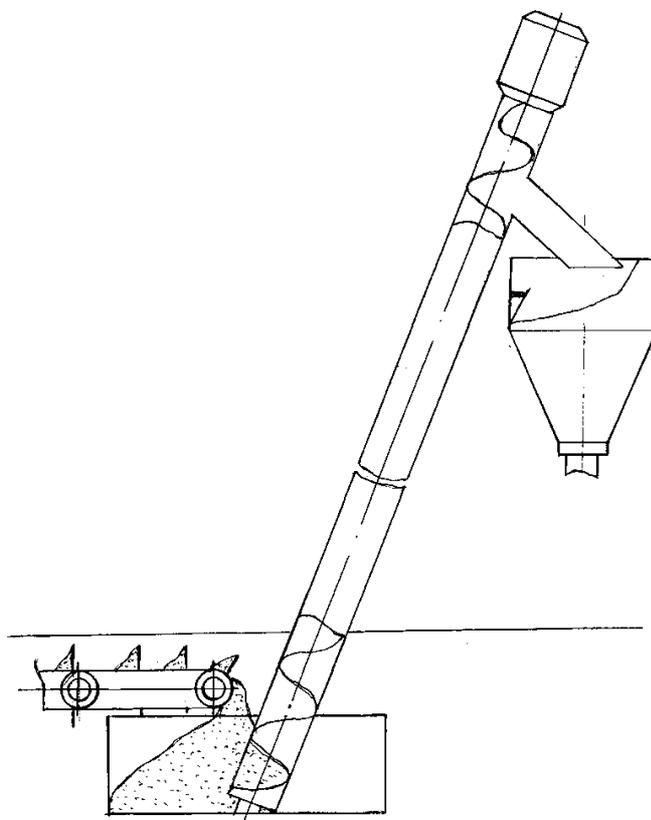


Рисунок 21 – шнековая подача

Таблица 20. -Операции, оборудование и технологические режимы изготовления детали

Операции	Оборудование	Режимы обработки			
		Давление, МПа	Температура, К	Время Выдержки, мин	Среда
Входной контроль исходных материалов					
Подготовка порошков	Вибросито модели ВС-2 для просеивания, Технические весы модели СВП-1500-10 для развески Конусный смеситель для смешения порошковой шихты			60-120	
Контроль смешенной шихты	Щуп, конусный смеситель, плиты, крестовина				
Прессование	Пресс-автомат КА8130	600			
Контроль	Микрометр				
Спекание	Толкательная печь модели СТН-2,45.2,0/11,5		1423	90-120	Водород

Продолжение таблицы 20

Контроль спеченных изделий	Штангенциркуль, микрометр, емкость с водой				
Калибрование	Пресс-автомат модели КА0424	300			
Контроль	штангенциркуль, весы				
Упаковка					

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ И ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ

2.1 Расчет припусков и допусков на размеры спеченных изделий

Для определения поля допуска и размеров спеченного изделия необходимо предварительно установить для каждого размера два вида допуска минимальный, который обеспечивает после шлифования заданного размера изделия при обычном искажении формы, и максимальный, обеспечивающий получение размеров готового изделия при наибольшем допустимом искажении формы после спекания. Нормальный средний припуск, используемый при нахождении номинального размера спеченного изделия, является средним значением из этих припусков.

Воспользуемся таблицей 2[7] (выбор формул для расчета припусков в круглых изделиях), для этого необходимо подсчитать значения параметров H/d

$$\frac{H}{d_1} = \frac{33}{25} = 1,32$$

$$\frac{H}{d_2} = \frac{33}{37} = 0,89$$

Для наших значений подходит вариант $H/d < 4$ (все или некоторые линейные размеры, больше 25 мм).

Для расчета используются некоторые общие формулы

$$A_{\max} = \Delta h + \Delta a_{\max} + \Delta b$$

$$A_{\min} = \Delta h + \Delta a_{\min}$$

где A_{\max} - величина максимального припуска,-

A_{\min} - величина минимального припуска,

Δh - сумма толщин дефектного слоя, $\Delta h = 0,1$ мм;

Δb - припуск для устранения последствий колебания усадки, равный $\Delta b = 0,008b$; b -номинальный размер изделия,

Δa_{\max} - припуск для устранения максимальнодопустимого искажения формы изделия;

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	150700.2015.078.00				

Δa_{\min} - припуск на устранения обычного (нормального) искажения формы

изделия

$$\Delta a_{\min} = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}\right) \Delta a_{\max}$$

Найдя значения по формулам 7, 8 находится припуск на калибрование:

$$P_k = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2}, \quad \text{мм}$$

Проделаем данные операции для всех линейных размеров (все исходные размеры обозначены в Приложении А):

1. $\varnothing 25, h = 26 \text{ мм}$:

$$\Delta D_{\max} = 0,005 \cdot h = 0,005 \cdot 26 = 0,13 \text{ мм};$$

$$\Delta D_{\max} = 0,004 \cdot D = 0,004 \cdot 25 = 0,1 \text{ мм};$$

Выбираем максимальное значение:

$$\Delta D_{\max} = 0,13 \text{ мм, тогда:}$$

$$\Delta D_{\min} = \frac{1}{3} \cdot \Delta D_{\max} = \frac{1}{3} \cdot 0,13 = 0,043 \text{ мм};$$

Соответственно:

$$D_{\max} = 0,1 + 0,13 + 0,008 \cdot 25 = 0,43 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = 0,1 + 0,043 = 0,143 \text{ мм};$$

$$P_k = \frac{0,43 + 0,143}{2} = 0,286 \text{ мм.}$$

2. $\varnothing 30 \text{ мм, } h = 1 \text{ мм}$:

$$\Delta D_{\max} = 0,005 \cdot 1 = 0,005 \text{ мм};$$

$$\Delta D_{\max} = 0,004 \cdot 30 = 0,12 \text{ мм};$$

Выбираем максимальное значение:

$$\Delta D_{\max} = 0,12 \text{ мм, тогда:}$$

$$\Delta D_{\min} = \frac{1}{3} \cdot 0,12 = 0,04 \text{ мм};$$

Соответственно:

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$D_{\max} = 0,1 + 0,12 + 0,008 \cdot 30 = 0,46 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = 0,1 + 0,04 = 0,14 \text{ мм};$$

$$P_k = \frac{0,46 + 0,14}{2} = 0,3 \text{ мм.}$$

3. $\varnothing 32 \text{ мм}, h = 6 \text{ мм}$:

$$\Delta D_{\max} = 0,005 \cdot 6 = 0,03 \text{ мм};$$

$$\Delta D_{\max} = 0,004 \cdot 32 = 0,128 \text{ мм};$$

Выбираем максимальное значение:

$$\Delta D_{\max} = 0,128 \text{ мм, тогда:}$$

$$\Delta D_{\min} = \frac{1}{3} \cdot 0,128 = 0,0426 \text{ мм};$$

Соответственно:

$$D_{\max} = 0,1 + 0,128 + 0,008 \cdot 32 = 0,484 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = 0,1 + 0,026 = 0,1426 \text{ мм};$$

$$P_k = \frac{0,484 + 0,1426}{2} = 0,3133 \text{ мм.}$$

4. $\varnothing 37 \text{ мм}, h = 6 \text{ мм}$:

$$\Delta D_{\max} = 0,005 \cdot 6 = 0,03 \text{ мм};$$

$$\Delta D_{\max} = 0,004 \cdot 37 = 0,148 \text{ мм};$$

Выбираем максимальное значение:

$$\Delta D_{\max} = 0,148 \text{ мм, тогда:}$$

$$\Delta D_{\min} = \frac{1}{3} \cdot 0,148 = 0,0493 \text{ мм};$$

Соответственно:

$$D_{\max} = 0,1 + 0,148 + 0,008 \cdot 37 = 0,544 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = 0,1 + 0,0493 = 0,1493 \text{ мм};$$

$$P_k = \frac{0,544 + 0,1493}{2} = 0,3465 \text{ мм.}$$

5. Отверстие $\varnothing 10 \text{ мм}, h = 33 \text{ мм}$:

$$\Delta d_{\max} = \Delta D_{\max} \cdot \frac{d}{D} = 0,13 \cdot \frac{10}{25} = 0,052 \text{ мм};$$

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$\Delta d_{\min} = \frac{1}{3} \cdot 0,052 = 0,0173 \text{ мм};$$

$$D_{\max} = 0,1 + 0,052 + 0,008 \cdot 10 = 0,232 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = 0,1 + 0,0173 = 0,1173 \text{ мм};$$

$$P_k = \frac{0,232 + 0,1173}{2} = 0,17465 \text{ мм.}$$

6. Отверстие $\varnothing 12$ мм, $h = 33$ мм:

$$\Delta d_{\max} = \Delta D_{\max} \cdot \frac{d}{D} = 0,13 \cdot \frac{12}{25} = 0,062 \text{ мм};$$

$$\Delta d_{\min} = \frac{1}{3} \cdot 0,062 = 0,02 \text{ мм};$$

$$D_{\max} = 0,1 + 0,062 + 0,008 \cdot 12 = 0,26 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ мм};$$

$$P_k = \frac{0,26 + 0,12}{2} = 0,19 \text{ мм.}$$

2.2 Определение массы навески порошка

Масса навески порошка для получения прессовок заданной плотности рассчитывается по формуле:

$$M = V_{\Gamma} \rho_{\Gamma} K_1 K_2, \text{ г}$$

Где ρ_{Γ} – плотность готового изделия, $\frac{\text{г}}{\text{мм}^3}$;

V_{Γ} – объем готового изделия, мм^3 ;

K_1 – коэффициент, учитывающий потери порошка при прессовании;

K_2 – коэффициент, учитывающий потери массы детали при спекании в результате восстановления окислов и выгорание примесей.

$$\rho_{\Gamma} = 6,9 \frac{\text{г}}{\text{мм}^3} \text{ (исходные данные);}$$

$$K_1 = 1,01 [1];$$

$$K_2 = 1,03 [1].$$

Для нахождения массы навески порошка необходимо подсчитать объем готового изделия. Разобьем деталь на составные части, для удобства определения объема (рисунок 22).

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

1. Объем V_1 условно рассчитаем как усеченный конус: $V_1 = V'_1 - V''_1$,

$V'_1 = \frac{3,14 \cdot 1,5}{12} \cdot (29^2 + 34,5^2 + 29 \cdot 34,5)$, значение 34,5 – это среднее значение между 37 и 32.

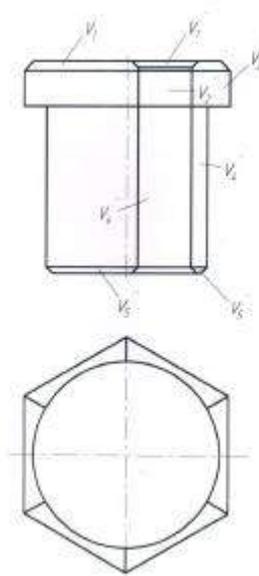


Рисунок 22 – Разбиение детали на элементарные фигуры

$$V'_1 = \frac{3,14 \cdot 1,5}{12} \cdot (29^2 + 34,5^2 + 29 \cdot 34,5) = 1189,9 \text{ мм}^3;$$

$$V''_1 = \frac{3,14 \cdot 1}{12} \cdot (12^2 + 10^2 + 12 \cdot 10) + \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} \cdot 0,5 = 95,24 + 39,25 = 134,49 \text{ мм}^3;$$

$$V_1 = 1189,9 - 134,49 = 1055,47 \text{ мм}^3$$

2. Объем $V_2 = V'_2 - V''_2$;

Фигура - шестигранник правильный, $h=4,5$ мм.

$$V'_2 = (0,5 \cdot 16 \cdot (18,5 + 37)) \cdot 2 \cdot 5,5 = 4884 \text{ мм}^3;$$

$$V''_2 = \frac{3,14 \cdot 10^2 \cdot 5,5}{4} = 431,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = 4884 - 431,75 = 4452,25 \text{ мм}^3$$

3. Объем $V_4 = V'_4 - V''_4$;

Фигура – цилиндр высотой 25мм.

$$V'_4 = 3,14 \cdot \frac{25^2}{4} \cdot 25 = 12265,625 \text{ мм}^3;$$

$$V_4'' = 3,14 \cdot \frac{10^2}{4} \cdot 25 = 1962,5 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = 12265,625 - 1962,5 = 10303,125 \text{ мм}^3$$

4. Объем $V_5 = V_5' - V_5''$;

Фигура – усеченный конус – $h=1$ мм.

$$V_5' = \frac{1}{12} \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot (25^2 + 23^2 + 25 \cdot 23) = 452,42 \text{ мм}^3;$$

$$V_5'' = \frac{1}{12} \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot (12^2 + 10^2 + 12 \cdot 10) = 95,24 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = 452,42 - 92,24 = 357,18 \text{ мм}^3$$

Сложим получившиеся объемы:

$$V = V_1 + V_2 + V_4 + V_5 = 1055,47 + 4452,25 + 10303,125 + 357,18 \\ = 16168,025 \text{ мм}^3$$

Подставляя полученное выражение в формулу (11), получим:

$$M = 16168,025 \cdot 6,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,01 \cdot 1,03 = 111,55 \text{ г}$$

2.3 Расчет высоты спрессованного изделия

Для определения высоты спрессованного изделия разобьем дебель на два объема и проведем расчеты для каждого объема в отдельности:

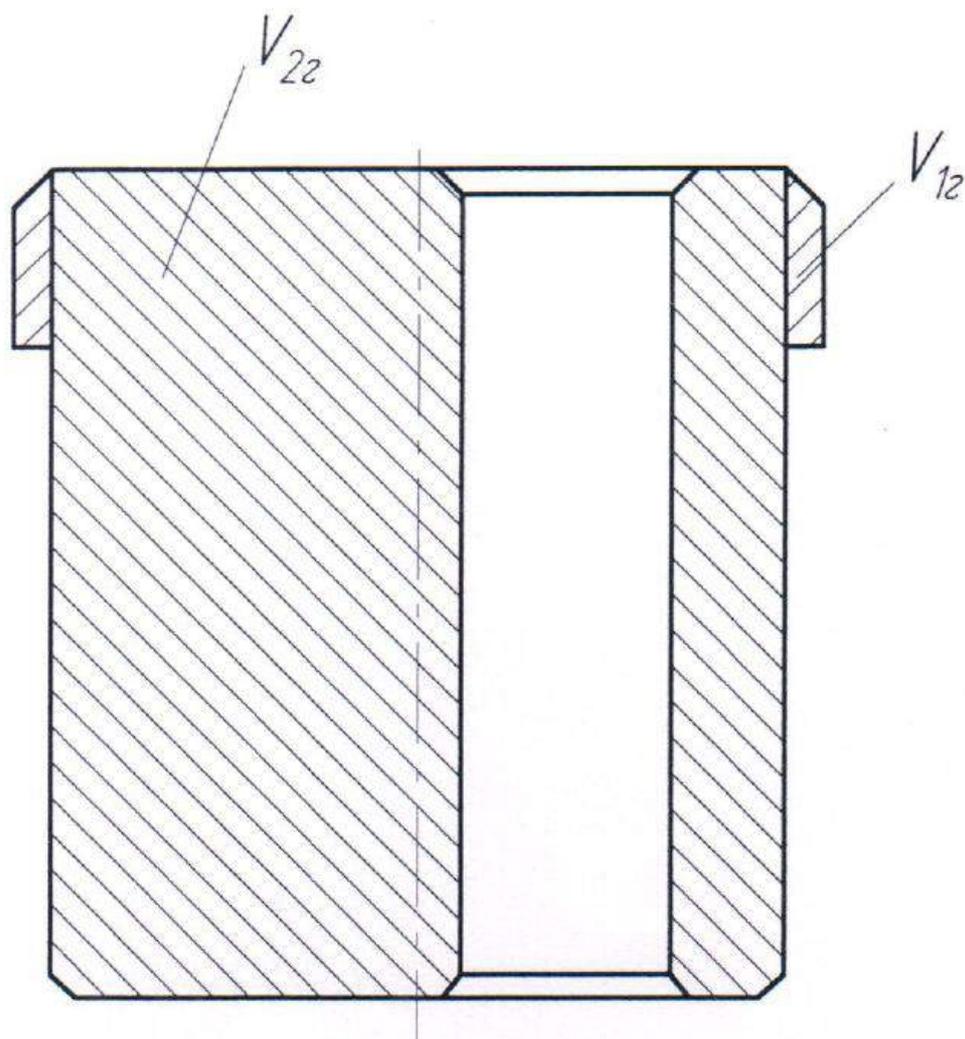


Рисунок 23 – Разделение заготовок на объемы

Подсчитаем эти объемы:

1) Подсчитаем $V_{1г}$:

$V_{1г} = V'_1 + V''_1$; V'_1, V''_1 – см. расчеты раздел 3, пункт 1 и пункт 2.

$$V'_1 = \frac{3,14 \cdot 1,5}{12} \cdot (29^2 + 34,5^2 + 29 \cdot 34,5) - \frac{3,14 \cdot 25^2 \cdot 1,5}{4} = 454,02 \text{ мм}^3;$$

$$V''_1 = 4884 - \frac{3,14 \cdot 25^2 \cdot 5,5}{4} = 2185,5 \text{ мм}^3;$$

$$V_{1г} = 454,02 + 2185,5 = 2639,5 \text{ мм}^3$$

1) Подсчитаем $V_{2г}$:

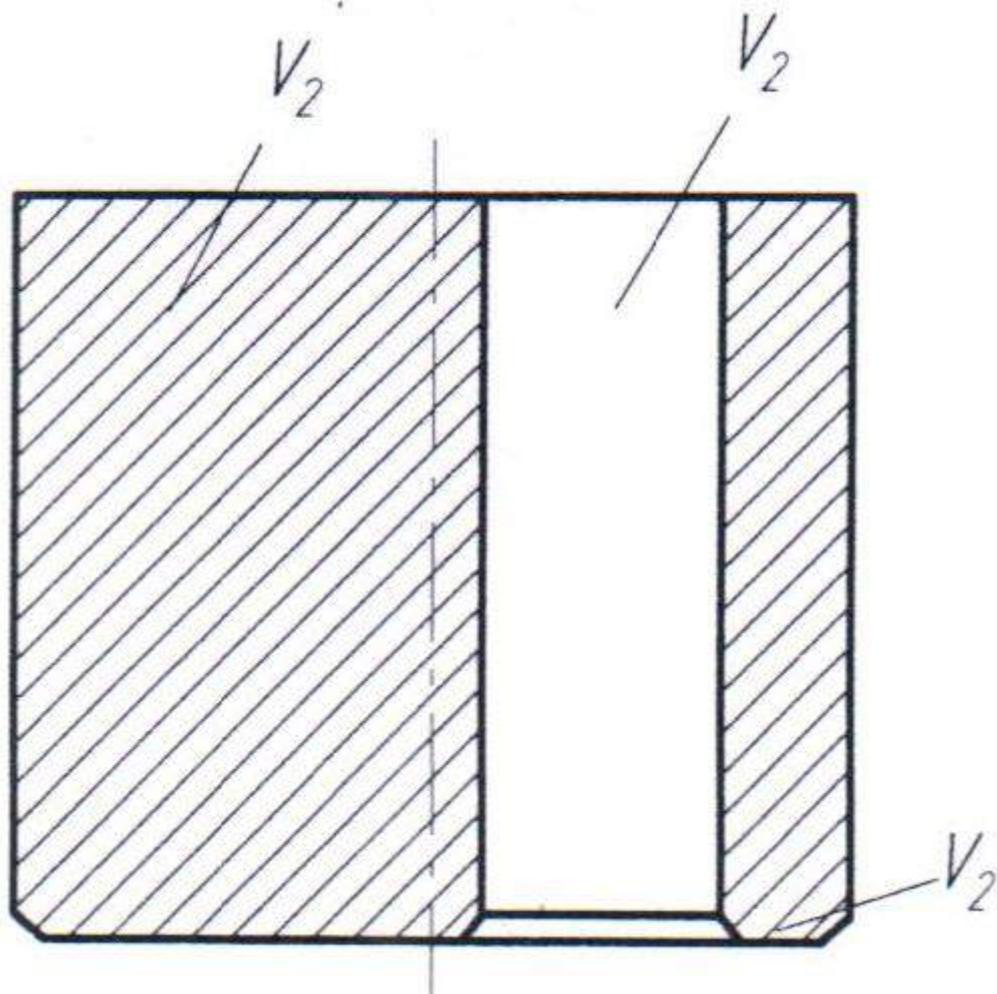


Рисунок 24 – Разбиение второго объема

$$V_{2г} = V_2' + V_2'' + V_2''';$$

$$V_{2г} = \frac{3,14 \cdot 25^2 \cdot 32}{4} + \frac{3,14 \cdot 1}{12} * (25^2 + 23^2 + 25 \cdot 23) - \frac{3,14 \cdot 2}{12} \cdot (12^2 + 10^2 + 12 \cdot 10) - \frac{3,14 \cdot 10^2 \cdot 31}{4}$$

$$= 15700 + 452,4 - 190,49 - 2433,5 = 13528,41 \text{ мм}^3$$

Переходим непосредственно к расчету высот:

1. Масса готового изделия:

$$M_{гi} = \rho_{г} \cdot V_{гi};$$

$$M_{г1} = 6,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2639,5 = 18,21 \text{ г};$$

$$M_{г2} = 6,9 \cdot 10^{-3} \cdot 13528,41 = 93,3 \text{ г}$$

2. Плотность изделия после спекания:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\rho_{\text{сп}} = \rho_{\text{г}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta\rho_{\text{кал}}}{100}\right);$$

где $\Delta\rho_{\text{кал}} = 4\%$ - прирост плотности при калибровании;

$$\rho_{55\Pi} = 6,9 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{4}{100}\right) = 6,624 \text{ г/мм}^3$$

3. Объем изделия после спекания:

$$V_{\text{сп}i} = V_{\text{г}i} \cdot \left(1 + \frac{\Delta\rho_{\text{кал}}}{100}\right);$$

$$V_{\text{сп}1} = 2639,5 \cdot \left(1 + \frac{4}{100}\right) = 2745,08 \text{ мм}^3;$$

$$h_{\text{сп}2} = 13528,41 \cdot \left(1 + \frac{4}{100}\right) = 14069,5464 \text{ мм}^3$$

4. Высота изделия после спекания:

$$h_{\text{сп}i} = h_i \cdot \left(1 + \frac{\Delta\rho_{\text{кал}}}{100}\right);$$

$$h_{\text{сп}1} = 7 \cdot \left(1 + \frac{4}{100}\right) = 7,28 \text{ мм};$$

$$h_{\text{сп}2} = 33 \cdot \left(1 + \frac{4}{100}\right) = 34,32 \text{ мм}$$

5. Масса спрессованного изделия:

$$M_{\text{пр}i} = K_2 \cdot M_{\text{г}i};$$

$$M_{\text{пр}1} = 1,03 \cdot 18,21 = 18,7556 \text{ г};$$

$$M_{\text{пр}2} = 1,03 \cdot 93,3 = 96,099 \text{ г}$$

5. Объем спрессованного изделия:

$$V_{\text{пр}i} = V_{\text{сп}i} \cdot \left(1 - \frac{\varphi_V}{100}\right);$$

где φ_V – коэффициент объемной усадки;

$$\varphi_V = 100 - \frac{100}{K_V};$$

где K_V – объемная усадка при спекании;

$$K_V = K_h \cdot K_{D,d}^2;$$

где $K_h, K_{D,d}$ – усадка при спекании;

$$K_h = \frac{100}{100 - \varphi_h};$$

$$K_{D,d} = \frac{100}{100 - \varphi_{D,d}};$$

$$K_h = \frac{100}{100 - 0,3} = 1,003;$$

$$K_r = \frac{100}{100 - 0,4} = 1,004;$$

$$K_v = 1,003 \cdot 1,004 = 1,011;$$

$$\varphi_v = 100 - \frac{100}{1,011} = 1,09;$$

$$V_{\text{пр1}} = 2745,08 \cdot \left(1 - \frac{1,09}{100}\right) = 2715,1 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = 14069,5464 \cdot \left(1 - \frac{1,09}{100}\right) = 13915,92102 \text{ мм}^3$$

7. Плотность спрессованного изделия:

$$\rho_{\text{при}} = \frac{M_{\text{при}}}{V_{\text{при}}};$$

$$\rho_{\text{пр1}} = \frac{18,756}{2715,1} = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ т/м}^3;$$

$$\rho_{\text{пр2}} = \frac{96,099}{13915,92} = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ т/м}^3;$$

8. Высота прессовки:

$$h_{\text{при}} = h_{\text{спн}} \cdot \left(\frac{100 - \varphi_r}{100}\right) \cdot \left(\frac{100 + \delta}{100}\right);$$

где δ – упругое последствие прессовки по размерам (исходные данные);

$$h_{\text{пр1}} = 7,28 \cdot \left(\frac{100 - 0,4}{100}\right) \cdot \left(\frac{100 + 0,3}{100}\right) = 7,28 \cdot 0,96 \cdot 1,003 = 7,272 \text{ мм};$$

$$h_{\text{пр2}} = 34,32 \cdot \left(\frac{100 - 0,4}{100}\right) \cdot \left(\frac{100 + 0,3}{100}\right) = 34,32 \cdot 0,96 \cdot 1,003 = 34,285 \text{ мм};$$

9. Высота слоя порошка в матрице:

$$H_i = h_{\text{при}} \cdot \frac{\rho_{\text{при}}}{\rho_0};$$

где ρ_0 – насыпная плотность порошка (общая);

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$\rho_0 = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\rho_{0i}}};$$

где a_i – содержание отдельных компонентов в шихте, %;

ρ_{0i} – плотность отдельных компонентов.

$$\rho_0 = \frac{100}{\frac{94,2}{2,6} + \frac{0,8}{0,4} + \frac{4}{1,7} + \frac{1}{2,2}} = 2,43 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3};$$

$$H_1 = 7,272 \cdot \frac{6,9}{2,43} = 20,65 \text{ мм};$$

$$H_2 = 34,285 \cdot \frac{6,9}{2,43} = 97,35 \text{ мм}$$

10. Общая высота матрицы:

$$H_{mi} = H_i + h_H;$$

где h_H – величина захода в матрицу нижнего пуансона;

$$H_{mi} = 20,65 + 10 = 30,65 \approx 31 \text{ мм};$$

$$H_{mi} = 97,35 + 10 = 107,35 \approx 108 \text{ мм}$$

2.4 Расчет размеров рабочей полости матрицы

Все расчеты ведем по чертежу детали (приложение А), для диаметра $\varnothing 25$ мм, сторон с размерами 32 мм 37 мм.

1. Минимальный размер изделия после калибрования:

Минимальный размер изделия после калибрования рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{mini}} = D_i - \Delta l_{D_i}, \text{ мм};$$

где D - номинальный размер изделия, мм;

Δl_{D_i} - допуск на соответствующий размер;

$$D_{\text{min1}} = D_1 - \Delta l_{D_1} = 25 - 0,05 = 24,95 \text{ мм};$$

$$D_{\text{min2}} = D_2 - \Delta l_{D_2} = 32 - 0,02 = 31,988 \text{ мм};$$

$$D_{\text{min3}} = D_3 - \Delta l_{D_3} = 37 - 0 = 37 \text{ мм}$$

2. Размер рабочей полости калибрующей матрицы:

$$D_{ki} = D_{\text{mini}} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right), \text{ мм};$$

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

где W- упругое последствие при калибровании, %.

$$D_{k1} = 24,95 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 24,88 \text{ мм};$$

$$D_{k2} = 31,988 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 31,89 \text{ мм};$$

$$D_{k3} = 37 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 36,89 \text{ мм}$$

3. Размер изделия после спекания при калибровании с отрицательным припуском:

$$D_{cni} = D_{ki} - \Pi_k, \text{ мм};$$

где Π_k - припуск на калибрование (п.2.1).

$$D_{cni1} = 24,88 - 0,29 = 24,59 \text{ мм};$$

$$D_{cni2} = 31,89 - 0,31 = 31,58 \text{ мм};$$

$$D_{cni3} = 36,89 - 0,3465 = 36,54 \text{ мм}$$

4. Размер спрессованного изделия (рост при спекании):

$$D_{pri} = D_{cni} \cdot \left(1 - \frac{\varphi_r}{100}\right), \text{ мм};$$

$$D_{pri1} = 24,59 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 24,49 \text{ мм};$$

$$D_{pri2} = 31,58 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 31,45 \text{ мм};$$

$$D_{pri3} = 36,54 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 36,39 \text{ мм}$$

5. Размер рабочей полости матрицы:

$$D_{mi} = D_{pri} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right), \text{ мм};$$

$$D_{m1} = 24,49 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{100}\right) = 24,42 \text{ мм};$$

$$D_{m2} = 31,45 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{100}\right) = 31,36 \text{ мм};$$

$$D_{m3} = 36,39 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{100}\right) = 36,29 \text{ мм};$$

Таким образом:

$$D_{m1} = 24,42^{+0,013} \text{ мм};$$

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$$D_{п1} = 24,38_{-0,013} \text{ мм};$$

$$D_{м2} = 31,36^{+0,016} \text{ мм};$$

$$D_{п2} = 31,32_{-0,016} \text{ мм};$$

$$D_{м3} = 36,29^{+0,016} \text{ мм};$$

$$D_{п3} = 36,25_{-0,016} \text{ мм}$$

2.5 Определение размеров стержня

1. Максимальный размер стержня после калибрования, [7]:

$$d_{\max i} = d_i + \Delta l_{Di}, \text{ мм};$$

$$d_{\max 1} = 10 + 0,05 = 10,05 \text{ мм};$$

$$d_{\max i} = 12 + 0 = 12 \text{ мм}$$

2. Размер калибрующего стержня:

$$d_{ki} = d_{\max i} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right), \text{ мм};$$

$$d_{k1} = 10,05 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 10,19 \text{ мм};$$

$$d_{k2} = 12 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 11,96 \text{ мм};$$

3. Размер отверстия после спекания при калибровании с отрицательным припуском:

$$d_{сп i} = d_{ki} + \Pi_k, \text{ мм}$$

$$d_{сп 1} = 10,19 + 0,17465 = 10,36 \text{ мм};$$

$$d_{сп 2} = 11,96 + 0,19 = 12,15 \text{ мм}$$

4. Размер отверстия после прессования (усадка при спекании):

$$d_{пр i} = d_{сп i} \cdot \left(1 - \frac{\Phi_r}{100}\right), \text{ мм};$$

$$d_{пр 1} = 10,36 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 10,32 \text{ мм};$$

$$d_{пр i} = 12,15 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 12,1 \text{ мм}$$

5. Рабочий размер стержня в результате упругих последствий (уменьшение отверстия):

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$D_{\text{сшi}} = D_{\text{прi}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right), \text{ мм};$$

$$D_{\text{м1}} = 10,32 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{100}\right) = 10,29 \text{ мм};$$

$$D_{\text{м2}} = 12,1 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{100}\right) = 12,07 \text{ мм}$$

Таким образом:

$$D_{\text{ст1}} = 10,29_{-0,009} \text{ мм};$$

$$D_{\text{п1}} = 10,26^{+0,009} \text{ мм};$$

$$D_{\text{ст2}} = 12,07_{-0,011} \text{ мм};$$

$$D_{\text{п2}} = 12,1^{+0,011} \text{ мм};$$

2.6 Расчет усилия прессования и усилия выталкивания

В данной части магистерской работы мы определяем усилие прессования P для того чтобы правильно выбрать оборудование (пресс).

Усилие прессования рассчитывается по формуле:

$$P = p \cdot F \cdot q, \text{ Н};$$

где p - удельное давление прессования, МПа;

q – количество одновременно прессуемых деталей в пресс форме для нас $q=1$;

F – площадь поперечного сечения рабочей полости матрицы, мм²;

Удельное давление прессования определяется по следующей формуле:

$$p = p_{\text{max}} \cdot \rho_{\text{пр}}^{\bar{m}}, \text{ МПа};$$

где p_{max} - удельное давление прессования необходимое для получения беспористого тела, для нашего порошка $p_{\text{max}} = 1300 \text{ МПа}$, [7];

m – показатель прессования.

$$m = 2 + \frac{\rho_{\text{пр}}}{\rho_{\text{пр}} - \rho_0};$$

$$\rho_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{пр}}}{\rho_{\text{к}}};$$

Где $\rho_{\text{к}}$ - плотность компактного материала рассчитываемая по формуле:

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

$$\rho_K = \frac{100}{\frac{94,2}{7,85} + \frac{0,8}{2} + \frac{4}{8,6} + \frac{1}{8,9}} = 7,7 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3};$$

$$\rho_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{пр}}}{V_{\text{пр}}} = 6,9 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3};$$

$$\rho_{\text{пр}} = \frac{6,9}{7,7} = 0,896;$$

$$\rho_0 = \frac{\rho_0}{\rho_K};$$

$$\rho_0 = 2,43 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3};$$

$$\rho_0 = \frac{2,43}{7,7} = 0,315 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3};$$

Таким образом:

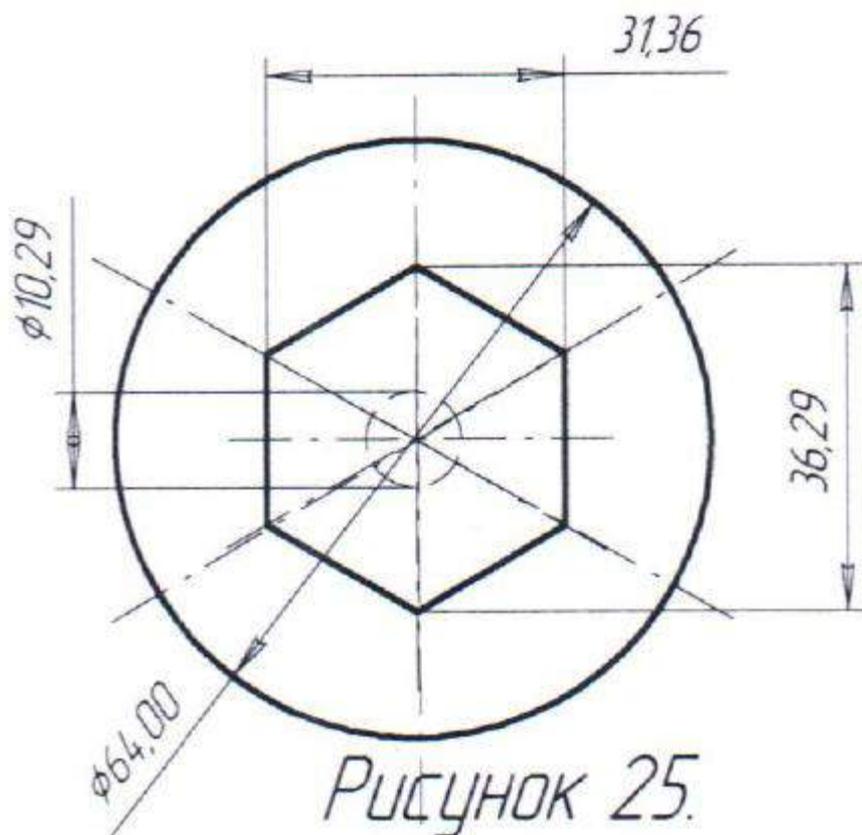
$$m = 2 + \frac{0,896}{0,896 - 0,315} = 3,54;$$

Подставляя полученные значения в формулу (38) получим:

$$p = 1330 \cdot 0,896^{3,54} = 901,61 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения матрицы определяем по формуле:

$$F = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot (18,14 + 36,29) \cdot 15,68 \right) - \frac{3,14 \cdot 10,29^2}{4} = 770,422 \text{ мм}^2$$



Усилие прессования определяется следующим образом:

$$P = 901,61 \cdot 770,422 = 694620,2 \text{ Н};$$

Усилие прессы определяется с учетом коэффициента запаса мощности равного $n=1,2$:

$$P_{\text{пр}} = P \cdot n;$$

$$P_{\text{пр}} = 1,2 \cdot P = 1,2 \cdot 694620,2 = 833544,2 \text{ кН}$$

Усилие выталкивания:

$$P_{\text{выт}} = 0,25 \cdot P_{\text{пр}} = 0,25 \cdot 833544,2 = 208386,05 \text{ кН}$$

2.7 Прочностные расчеты деталей пресс форм

1. Матрица:

Рассчитаем наружные размеры матрицы, они могут быть определены приближенно по следующим соотношениям:

$$r_3 = 3,1 \cdot r_1;$$

$$r_2 = \sqrt{r_1 \cdot r_3};$$

$$r_1 = 18,14 \text{ мм};$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$r_3 = 3,1 \cdot 18,14 = 56,23 \text{ мм};$$

$$r_2 = \sqrt{r_1 \cdot r_3} = \sqrt{18,14 \cdot 56,23} = 31,93 \text{ мм};$$

$$\delta = 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot r_1 = 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 18,14 = 0,2;$$

Все расчеты ведем согласно рисунку 27.

2. Рассчитаем пуансон на сжатие:

2.1 Верхний пуансон (рисунок 26) на сжатие проверяется по формуле:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P}{S_{\text{П}}} \leq [\sigma_{\text{сж}}];$$

где P – усилие прессования, МН;

$S_{\text{П}}$ – площадь наименьшего поперечного сечения пуансона, м²;

$[\sigma_{\text{сж}}]$ – допустимые напряжения на сжатие материала пуансона, равное обычно 1600-1900 МПа.

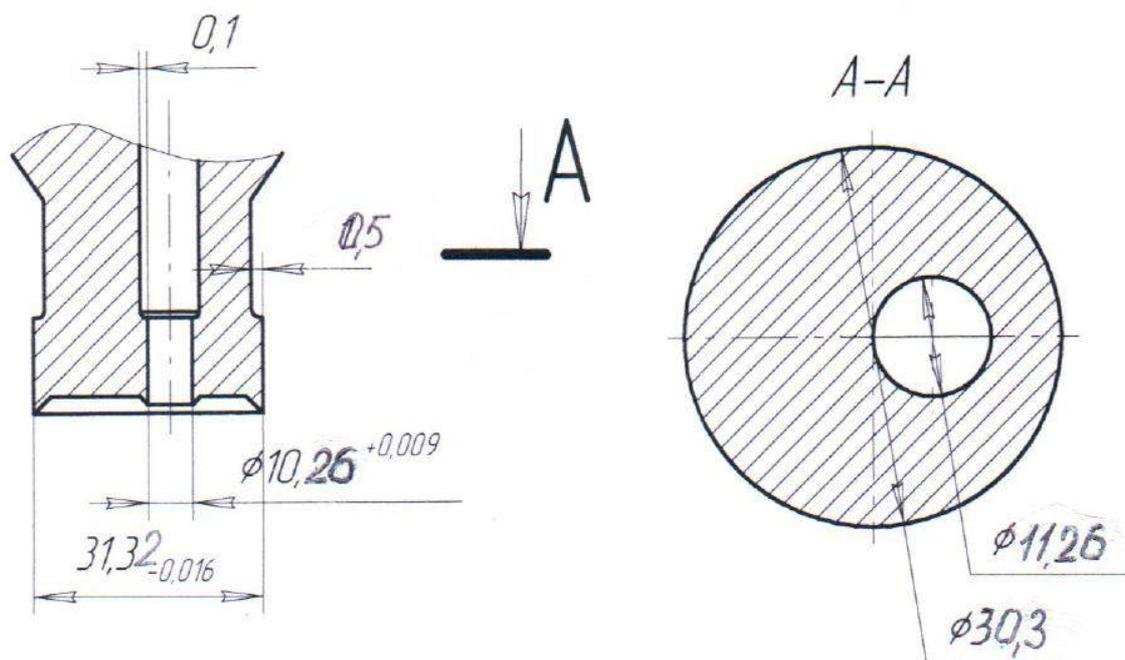


Рисунок 26 – Верхний пуансон

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

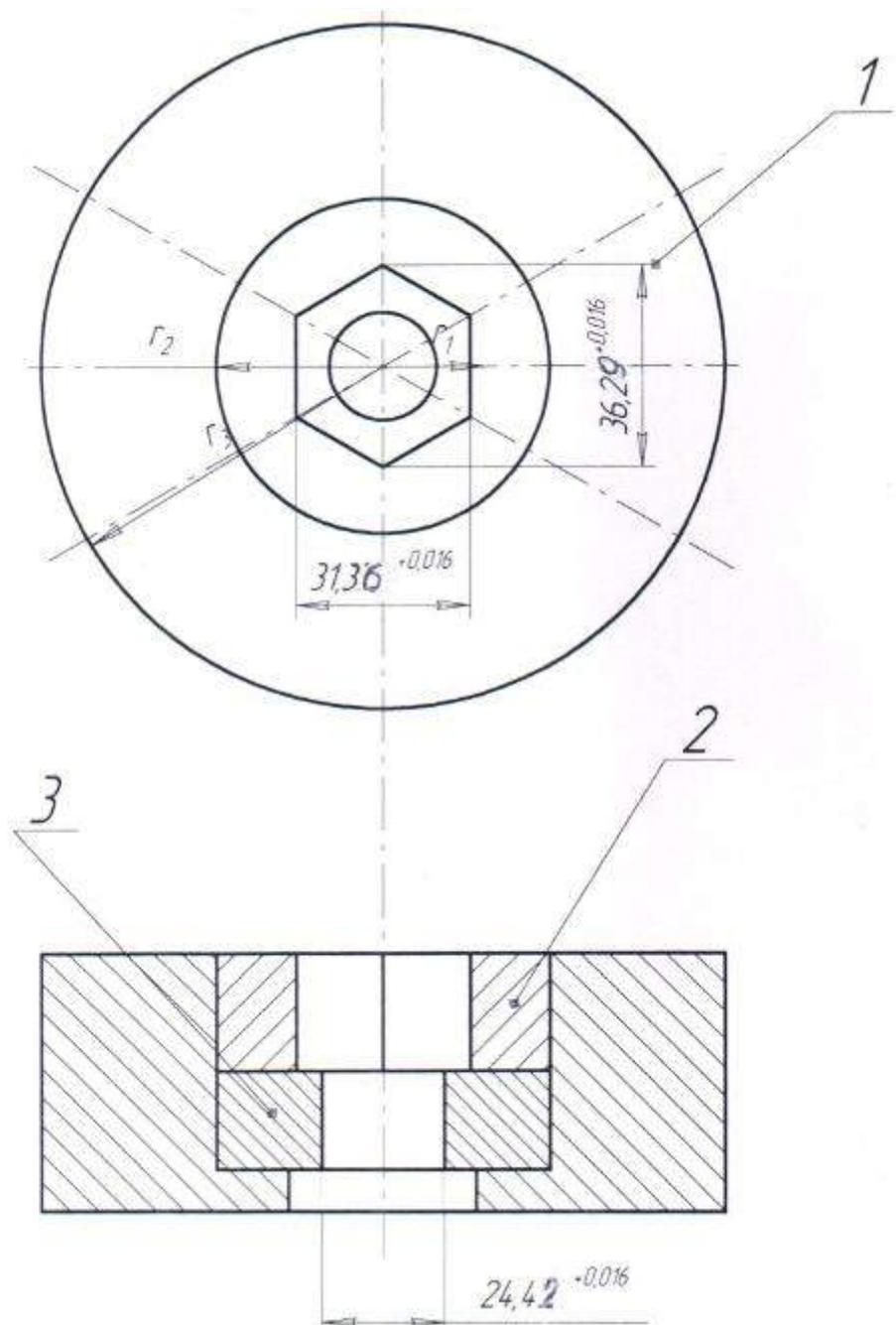


Рисунок 27 – Эскиз матрицы:

1 – обойма;

2 - вставка верхняя;

3 – вставка нижняя;

Найдем площадь наименьшего поперечного сечения пуансона:

$$S_{\Pi} = \frac{3,14 \cdot 30,3^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 11,26^2}{4} = 721,55 - 99,5 = 622,12 \text{ мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{0,694}{622,12} = 1115 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{сж}}]$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Определим максимальную длину свободной части пуансона:

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot P}};$$

где E - модуль упругости, $E=2,15 \cdot 10^5$ МПа,

I – момент инерции наименьшего сечения пуансона, м^4 ,

$$I = \frac{3,14 \cdot (30,3^4 - 11,26^4)}{64} = 40565,5 \text{ мм}^4;$$

P – усилие прессования, МН,

n – коэффициент безопасности, $n=2-3$

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot 40565,5}{3 \cdot 0,694 \cdot 10^6}} = 165 \text{ мм}$$

2 Нижний пуансон (рисунок 27)

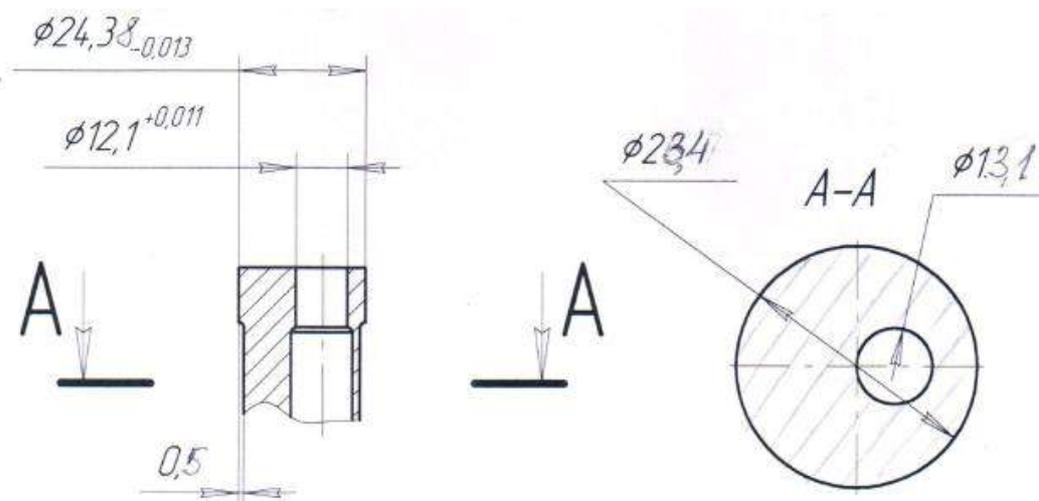


Рисунок 28 – Нижний пуансон

По формуле 44 рассчитаем нижний пуансон на сжатие. Усилие P равно:

$$P = p \cdot F = \frac{3,14 \cdot (24,38^2 - 12,1^2)}{4} = 351,28 \text{ кН}$$

$$S_{\Pi} = \frac{3,14}{4} \cdot (23,4^2 - 13,1^2) = 295,12 \text{ мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{0,351}{295,12} = 1189 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{сж}}]$$

Рассчитаем момент инерции для данного сечения:

$$I = \frac{3,14 \cdot (23,4^4 - 13,1^4)}{64} = 13265,12 \text{ мм}^4$$

Определим максимальную длину свободной части пуансона по формуле 45:

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 13265,12}{3 \cdot 0,694 \cdot 10^6}} = 164 \text{ мм}$$

2.8 Выбор материалов инструментов

Изготовление рабочего инструмента является очень сложным и трудоемким процессом, требующим применения разнообразных станков, специального инструмента, тщательной локальной обработки и большой затраты квалифицированного труда.

Инструмент для прессования (Приложение Б) изделия должен обеспечивать точность размеров изделий, обладать высокой прочностью, чтобы противостоять весьма высоким напряжениям возникающим при прессовании, обладать высокой жесткостью во избежание деформаций, приводящих к трещинообразованию в прессовках и повышенному износу инструмента, должен иметь высокую частоту поверхности и быть долговечным в работе. К инструментам относятся детали пресс-форм и технологического назначения матрицы и пуансоны.

Пуансоны подвергаются, прежде всего, действию сжимающей нагрузки. Поэтому при конструировании пуансонов необходимо сокращать их длину, что обеспечит технологичность их изготовления, устойчивость и жесткость. Рабочие пояски пуансонов достаточно большие (10-15 мм) как снаружи, так и изнутри. Это делается для подшлифовки в случае необходимости рабочего торца пуансона, так как в процессе прессования острая рабочая кромка пуансона закругляется, что приводит к искажению формы прессуемого изделия.

В условиях массового производства спеченных деталей с жесткими допусками целесообразность изготовления твердосплавного инструмента не вызывает сомнений, несмотря на высокую стоимость твердых сплавов и трудность их обработки. Для изготовления твердосплавной вставки матрицы используется твердосплавный сплав ВК15 ГОСТ 3882-74, таблица 21.

Таблица 21 – свойства сплава ВК15[8]

Плотность, т/м ³	$\sigma_{\text{раст}}$, МПа	$\sigma_{\text{изг}}$, МПа	$\sigma_{\text{сж}}$, МПа	Твердость	
				HRA	HV
14	1313	1800	3579	86	1040

В качестве материала для пуансона используется сталь ХВГ ГОСТ 5950-73, твердостью HRC 54...58. Режим термообработки: закалка $t=830...850^{\circ}\text{C}$, отпуск $t=200...300^{\circ}\text{C}$, воздушное охлаждение, [8].

В качестве материала для обоймы используется сталь 45 ГОСТ 1050-88, твердостью HRC 42...44, таблица 22.

Таблица 22 – Термообработка стали 45

Режим термообработки			$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCV, Дж/см ²
Операция	t, °C	Охлаждающая среда					
Нормализация	860	Воздух	355	600	16	40	4,9

В качестве материала для стержня используется сталь ХВГ ГОСТ 5950-73, твердостью HRC 40...42 с местной закалкой ТВЧ до твердости HRC 62...64.

3 ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1 Литературный обзор

Прессование в пресс-формах является одним из наиболее производительных и относительно недорогих способов производства по сравнению с механической обработкой. Производительность значительно снижает отходы. Данный процесс позволяет получать конечный продукт точной формы с хорошим качеством поверхности и высокими механическими свойствами. Прессование порошков играет важную роль в формировании частей для авиационной и автомобильной отраслей. Использование износостойких материалов и высокопрочной стали в этих областях, сопровождается более жесткими условиями для рабочего инструмента с высокими термическими, механическими и трибологическими свойствами. Эти напряжения приводят к износу пресс-форм и дефекту качества прессованных изделий.

В настоящее время остается очень трудно точно предсказать процессы износа инструмента при формировании порошковых заготовок. Это предсказание часто включает в себя сочетание промышленного ноу-хау и моделирование процесса. В условиях снижения стоимости затрат на производство, задача состоит в том, чтобы увеличить срок службы инструмента, который составляет около 17% себестоимости продукции. [9]

Обычных методов проектирования, изготовления и ремонта инструмента не достаточно для достижения такого технологического скачка. Инновации развития этой области включают в себя разработку покрытий, тем самым продлевая жизнь инструмента, избегая при этом снижение производительности инструмента при обработке и обеспечение того, чтобы решение являлось экономически конкурентоспособным.

Целью работы является предоставление окончательного покрытия соответствующего следующим требованиям:

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

- покрытие может состоять из одного или нескольких слоев (возможно использование различных по типу материалов);
- произведено методом лазерной наплавки ;
- устойчивость к напряжению сдвига от 750 МПа до 1600 МПа;
- устойчивость к растяжению-сжатию от 500 МПа до 1500 МПа (механической усталости);
- устойчивость к местным тепловым ударам до 150 °С
- покрытие должно обладать отличной адгезией с подложкой;
- обеспечить термический барьер между инструментом и рабочей поверхностью, так чтобы температура не превышала 500 °С во время всего цикла производства.

После представления механизмов, вызывающих износ инструмента, мы заинтересованы в первой части методом лазерной наплавки и выбором материалов для наплавки. Материал, выбранный для этого ВЗК с фазой упрочнения TiC[10].

Во второй части, будут представлены характеристика порошка, параметры эксперимента лазерного осаждения и характеристики инструмента. Было проведено три исследования. Процесс осаждения (лазерной наплавки) смоделирован для третьей серии экспериментов.

В третьей части будут представлены результаты исследований покрытий полученных методом лазерной наплавки, обсуждение в зависимости от полученных данных.

3.2 Виды износа пресс-форм

В зависимости от сложности и объема работы ремонт пресс-форм может быть текущим (мелкий ремонт), средним и капитальным. Текущий ремонт заключается в устранении мелких дефектов, например переточка затупившейся матрицы или пуансона, замена пружин, фиксаторов или стержней. Такой вид ремонта выполняется обычно непосредственно в ремонтном цехе, на специально отведенном ремонтном участке. Средний ремонт состоит чаще всего в замене

одной из основных рабочих частей пресс-формы и нескольких вспомогательных деталей и выполняется обычно в инструментальном цехе. Капитальный ремонт связан с полной разборкой пресс-формы и заменой значительного числа основных и вспомогательных деталей. Трудоемкость такого ремонта может составлять 60–75 % общей трудоемкости изготовления пресс-формы. При капитальном ремонте заменяют пуансоны и матрицы (или их секции) и большую часть вспомогательных деталей. Верхняя и нижняя плиты пресс-форм при этом сохраняются. Перед ремонтом штампы и бракованные детали тщательно осматривают, чтобы установить вид и причины брака и определить содержание ремонта. При этом составляют карту дефектов, либо акт о выходе пресс-формы из строя в результате аварии.

Если пресс-форма вышел из строя в результате аварии (например, сломалась матрица) и ремонт связан с необходимостью изменения конструкции, то на пресс-форму составляют ремонтные чертежи и разрабатывают новый технологический процесс изготовления вышедших из строя деталей. При разработке технологического процесса на капитальный ремонт пресс-формы прежде всего решается вопрос о целесообразности ремонта, так как иногда его трудоемкость может оказаться близкой к трудоемкости изготовления новой пресс-формы, а срок работы отремонтированной пресс-формы всегда меньше, у нового. Необходимо стремиться к снижению трудоемкости ремонта за счет использования имеющихся деталей вместо их изготовления. Испытание пресс-форм. Слесарь по изготовлению пресс-форм должен уметь выявить дефекты пресс-формы, зависящие как от плохого качества их изготовления, так и от неправильной установки и наладки, знать причины возникновения дефектов и способы устранения. В период испытания пресс-формы нельзя ограничиваться небольшим числом отпрессованных деталей, так как малое количество прессовок не даст полного представления о работе пресс-формы. Необходимо сделать не менее 50–70 прессовок и, если все они удовлетворительного качества, снять пресс-форму с пресса. Очень много дефектов готовых деталей вызывает неправильная установка пресс-формы на прессе.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70

Первым признаком неправильной установки пресс-формы на прессе будет одно стороннее трение на направляющих колонках, появление блестящей поверхности среза с какой-либо стороны детали (что показывает, что зазора с этой стороны нет) и быстрое затупление на этом участке режущих кромок пуансонов и матриц. Этот дефект является, как правило, следствием перекоса стола прессы, непараллельности или неравномерности прокладок под пресс-формой и смещения верхней части пресс-формы относительно нижней.

Перекося стол прессы и неточность размеров прокладок можно определить, освободив нижнюю плиту от крепления и замерив щупом зазор между пресс-формой и столом прессы. Можно также, перевернув штамп на 180° и закрепив его, снова сделать несколько пробных прессовок, при этом одностороннее трение на колонках появится с противоположной стороны и грат (избыточный металл) на детали будет также с другой стороны.

Смещение матрицы относительно пуансонов получается при изменении порядка крепления пресс-формы, когда сначала крепят нижнюю плиту, а затем верх пресс-формы. В блочных пресс-формах это вызовет изгибание колонок и одностороннее трение их во втулках, а также смещение пуансонов относительно матриц, что приведет к появлению одностороннего грата на прессуемых деталях. В бесколоночных пресс-формах это явится причиной зарубания режущих кромок матрицы, появления грата, повышенного износа направляющих плит и ослабления крепления пуансонов и ножей. Все эти дефекты можно устранить повторной, более тщательной установкой пресс-формы на прессе.

Загрязнение полосы материала землей, песком и т. д. приводит к быстрому истиранию режущих кромок и рубке неполных деталей, из-за чего возможна поломка или расшатывание пуансонов. Возможна неправильная геометрическая форма деталей, вследствие перекоса узкой полосы.

Пуансон после первого износа можно не выбрасывать, а переделать с одного типа или размера на другой, тогда расход металла на изготовление пуансонов сократится[11].

Вкладная матрица в результате многократной заточки может быть ошлифована настолько, что не будет выступать из нижней плиты. Срок ее службы можно продлить, если под матрицу положить стальную шлифованную прокладку и снова прошлифовать рабочую поверхность. Матрицы с небольшими трещинами можно заключить в стальную обойму. Обойму нагревают и напрессовывают на холодную матрицу. После остывания обойма она плотно сжимает матрицу, и трещина закрывается. Матрицы с выкрошившимися частями можно восстановить изготовлением точно подогнанной вставки[12].

Повышение стойкости штампов. Стойкость пресс-формы определяется количеством прессованных деталей от заточки до ремонта (или между двумя заточками, или между двумя ремонтами). Стойкость может определяться и общим количеством прессованных деталей до полного износа пресс-формы.

На стойкость пресс-форм влияют следующие факторы:

- технологичность конструкции прессованной детали;
- особенности технологического процесса прессовки;
- свойства прессуемого материала;
- конструкция пресс-формы;
- материал, из которого сделаны рабочие детали пресс-формы;
- качество изготовления пресс-формы;
- условия эксплуатации пресс-формы.

Повышение стойкости пресс-форм является одной из важных задач, которые должны учитываться при их изготовлении, ремонте и эксплуатации. Оно позволяет значительно сократить потери рабочего времени на ремонт, заправку и изготовление пресс-форм, снизить простои оборудования при смене пресс-форм и увеличить количество прессованных деталей с одной пресс-формы.

Стойкость рабочих частей пресс-форм может быть повышена химико-термической обработкой их (азотированием), хромированием, наплавкой специальными электродами, наплавкой их рабочих поверхностей твердыми сплавами. В десятки раз повышается стойкость штампов армированием вставками из твердых сплавов.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		72

Хромированием достигается упрочнение новых и восстановление изношенных деталей пресс-форм из углеродистых сталей. Толщина хромового покрытия от 3 мкм и выше. При восстановлении изношенных деталей допускается нанесение слоя хрома до 50–60 мкм. После хромирования детали проходят термическую обработку в масляной ванне при нагреве до 170–180 °С в течение двух часов. Наплавка пресс-форм применяется для повышения износостойкости новых, обычно крупногабаритных пресс-форм, и восстановления изношенных. При изготовлении новых наплавных деталей в качестве заготовок под наплавку используют сталь марки 45. Наплавка выполняется электродами марок ЭН-60М и ОЗН-1. Технология изготовления электронаплавных матриц следующая:

- изготовление заготовок под наплавку;
- подогрев заготовок диаметром более 100 мм перед наплавкой электродом ЭН-60М до 350–400 °С, а перед наплавкой электродом ОЗН-1–до 500–600 °С;
- наплавка электродом вручную;
- отпуск наплавленной заготовки;
- механическая и слесарная обработка;
- закалка и отпуск;
- доводка детали.

Для восстановления рабочих деталей пресс-форм, изготовленных из сталей марок У8А, У10А, У12А применяют электрод, изготовленный из малоуглеродистой проволоки, покрытой специальной обмазкой, состоящей из 49 % феррохрома, 2 % черного графита, 16 % плавикового шпата, 11 % титанового концентрата и 22 % мела. К общему количеству сухой смеси обмазки добавляют 25–30 % жидкого стекла концентрацией 1, 33–1, 34 %. Обмазку наносят окунанием и сушат детали на воздухе 12–15 часов, а затем 1, 5 часа закаливают в печи при температуре 180–200 °С. При диаметре стержня 3 мм толщина покрытия на сторону составляет 2 мм; при диаметре 4 мм – 1, 4 мм; при диаметре 5 мм – 1, 7 мм. Силу тока применяют от 80–100 А (при диаметре электрода 3 мм) до 170–200 А (при диаметре электрода 5 мм)[13].

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

Способ восстановления матриц наплавкой режущей кромки твердым сплавом: для этого в изношенной матрице снимают фаску под углом 30°, а затем выполняют электродуговую наплавку сплавом. После наплавки слоя его обрабатывают абразивными или алмазными головками для восстановления формы и нужных размеров матрицы. При наплавке сормайта применяют ацетиленово-кислородное пламя. Для получения высокого качества наплавки необходимо правильно выбрать режим ацетиленовокислородного пламени. При правильном режиме наплавки основной металл не расплавляется, а доводится до состояния «запотевания» (появление на поверхности блестящей подвижной пленки – «пота»). Наплавку выполняют в следующем порядке:

- осматривают деталь и, если она имеет трещины и повреждения, то не наплавляют ее;

- отжигают деталь, чтобы придать материалу однообразную структуру (закаленные детали при наплавке будут неизбежно деформироваться и давать трещины);

- снимают фаски и делают выточки по периметру наплавки; глубина фаски определяется толщиной рабочего слоя наплавки (от 0,5 до 2 мм); фаску у режущей кромки выполняют с таким расчетом, чтобы по мере удаления от края режущей кромки она сходила на нет; при снятии фаски не оставляют острых кромок и грубых рисок; ширину режущей кромки принимают от 5 до 10 мм, в зависимости от ширины рабочей поверхности детали;

- зачищают наплавляемую поверхность от масла, ржавчины и грязи до металлического блеска.

Подготавливают угольные и графитовые пласти (чтобы придать правильную форму слою твердого сплава и оградить некоторые места детали от попадания на них твердого сплава); покрывают деталь твердым сплавом; во время работы горелку держат под углом 25–30° к наплавляемой поверхности, а пруток – перпендикулярно к направлению пламени горелки и все время следят за тем, чтобы состав смеси ацетилена и кислорода не изменялся, так как он влияет на температуру пламени. При наплавке восстановительное пламя должно обладать

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

избытком ацетилена. Перед наплавкой основной металл прогревают на горне с древесным углем в электрической или муфельной печи до температуры 700–750 °С, затем место наплавки пламенем горелки разогревают до «запотевания» (или появления на наплавляемой поверхности первых признаков расплавления) и в этот момент оттягивают его до этого диаметра в пламя быстро вводят прутки и выполняют наплавку, держа горелку на расстоянии 3–5 мм от поверхности. Работу выполняют плавно и достаточно быстро. Толщина наносимого слоя от 1,5 до 2,5 мм.

Образовавшуюся в расплавленном металле шлак сдувают пламенем горелки, а наплавленную поверхность, если она получилась неровной, выравнивают (расплавляя места, где слой твердого сплава наложен неравномерно). После наплавки штамп помещают в теплый песок для медленного остывания. Наплавленные детали отжигают при температуре 850–900 °С с выдержкой 2–4 часа и последующим охлаждением в масле; отпуск производят при температуре 460–600 °С с выдержкой 1 час. После отжига сормайт № 2 легко обрабатывается режущим инструментом. После закалки его обрабатывают шлифованием.

Чтобы увеличить срок службы пресс-форм, применяют рабочие вставки к пресс-формам, изготовленные из металлокерамических твердых сплавов вольфрамо-кобальтовой группы.

Особенно широко применяются пресс-формы, армированные твердосплавными вставками, в крупносерийном и массовом производстве, где стойкость обычных стальных матриц и пуансонов оказывается недостаточной и приводит к необходимости изготовления большого числа штампов-дублеров. При изготовлении деталей технологической оснастки металлокерамические твердые сплавы применяют в следующих случаях [14]:

ВК6 – для пуансонов и матриц штампов холодной штамповки, быстроизнашивающихся деталей приспособлений, работающих на трение (центры и т. п.);

ВК8 – для холодновысадочных матриц; дыропробивного инструмента; волочильных и калибровочных вставок, работающих по стали, цветным металлам

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

и сплавам; для быстроизнашивающихся деталей приспособлений, работающих на трение; для направляющих, работающих с сильным износом и т. п.;

ВК10 – для деталей высадочных, дыропробивных и гибочных штампов, работающих в условиях умеренных нагрузок; для волочильных и калибровочных вставок, работающих по стали; для быстроизнашивающихся деталей приспособлений;

ВК15 – для деталей штампов, работающих при средних ударных нагрузках; для высадочного и дыропробивного инструмента, работающего в условиях повышенных напряжений.

Пресс-формы с твердосплавными вставками отличаются от стальных некоторыми конструктивными особенностями, что определяется физико-механическими свойствами твердого сплава. При конструировании и изготовлении таких штампов необходимо обеспечить:

- повышенную жесткость конструкции штампа; повышенную износостойкость направляющих колонок, втулок, направляющих планок, упоров и других элементов штампа;
- надежное крепление твердосплавных вставок с тщательной пригонкой их к опорным поверхностям;
- минимальный вход пуансона в матрицу с применением ограничивающих упоров;
- устранение влияния неточности движения ползуна прессы на штамп путем применения «плавающих» хвостовиков и симметричного расположения направляющих колонок относительно вырезаемого контура;
- увеличение зазоров между пуансоном и матрицей[15].

Детали, изготовленные из твердых сплавов, могут быть прикреплены к основаниям пуансонов и матриц не только запрессовкой, но и припаяны твердыми припоями, закреплены клиньями и винтами. Механическое крепление наиболее надежно и обеспечивает наибольший срок службы штампов. Применение пресс-форм, оснащенных твердосплавными рабочими частями при крупносерийном и

особенно при массовом производстве, уменьшает удельную стоимость штамповой оснастки.

Хранение пресс-форм. При правильном хранении пресс-формы не портятся, не появляется брак в результате небрежного обращения с оснасткой и тем самым устраняются потери времени при переналадках прессов. Хранить пресс-формы непосредственно у прессов запрещается, так как это затрудняет поиск нужной пресс-формы, загромождает производственную площадь, ведет к потере частей пресс-формы, порче деталей.

Пресс-формы хранят на специально отведенных местах – мелкие и средние на стеллажах, а крупные на полу или на деревянных брусках, уложенных на пол таким образом, чтобы пресс-форму можно было удобно снять вилочным электропогрузчиком. На каждой пресс-форме клеймят ее номер, номер прессуемой детали с индексом операции и инвентарный номер пресса, к которому изготовлена пресс-форма. Краской наносят номер стеллажа и полки кладовой пресс-форм.

Если в цехе выполняется прессовка деталей нескольких различных изделий, то какую-либо нерабочую поверхность пресс-формы для каждого серийного изделия окрашивают определенной краской.

После снятия с пресса пресс-форму вместе с несколькими последними отпрессованными деталями предъявляют контролеру ОТК, и тот ставит отметку о пригодности пресс-формы к повторному использованию, назначает ее в переточку или направляет в ремонт. Указания контролера отмечаются в пресс-формы.

Все пресс-формы хранят в сомкнутом состоянии. Крупные пресс-формы могут устанавливаться с прокладками в несколько ярусов (не более трех). Пресс-формы, укладываемые в верхние ярусы, по размерам не должны быть больше нижних.

На складах хранят только исправные пресс-формы. Неисправные пресс-формы из цеха направляют в ремонт или временно хранят на специальной площадке дефектных пресс-форм.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

3.3 Механизм износа пресс-форм

Различные локации на инструменте подвергаются циклическим нагрузкам различного характера, либо комбинацией этих нагрузок (механические, трибологические и тепловые), которые влияют на характер и форму повреждений рабочей поверхности [16]. Механизм износа происходит в результате сложных взаимодействий как показано на рисунке 28 четырьмя основными способами:

1. абразивный износ в районах высокой скорости скольжения материала по поверхности инструмента, в результате чего наблюдается неоднородная и прогрессирующая потеря массы инструмента.
2. пластическая деформация после превышения предела текучести инструмента в результате термомеханических напряжений с потерей пластичности и риском хрупкого разрушения
3. термическая усталость в результате изменения температуры, более или менее быстро, на поверхности, что приводит к растрескиванию поверхности
4. механическая усталость в результате инициирования микротрещин обеспечивает в процессе эксплуатации постепенное или внезапное разрушение инструмента.

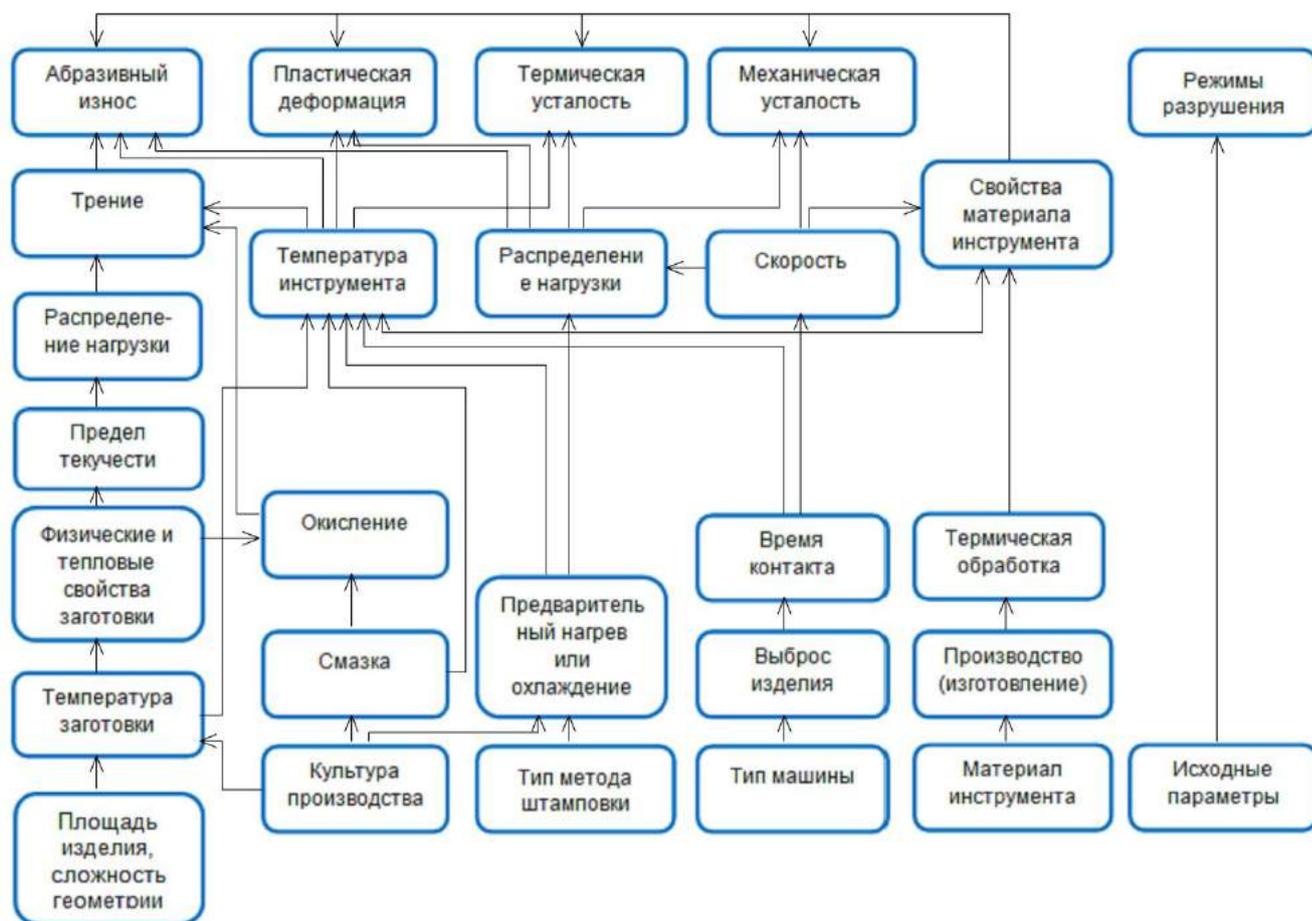
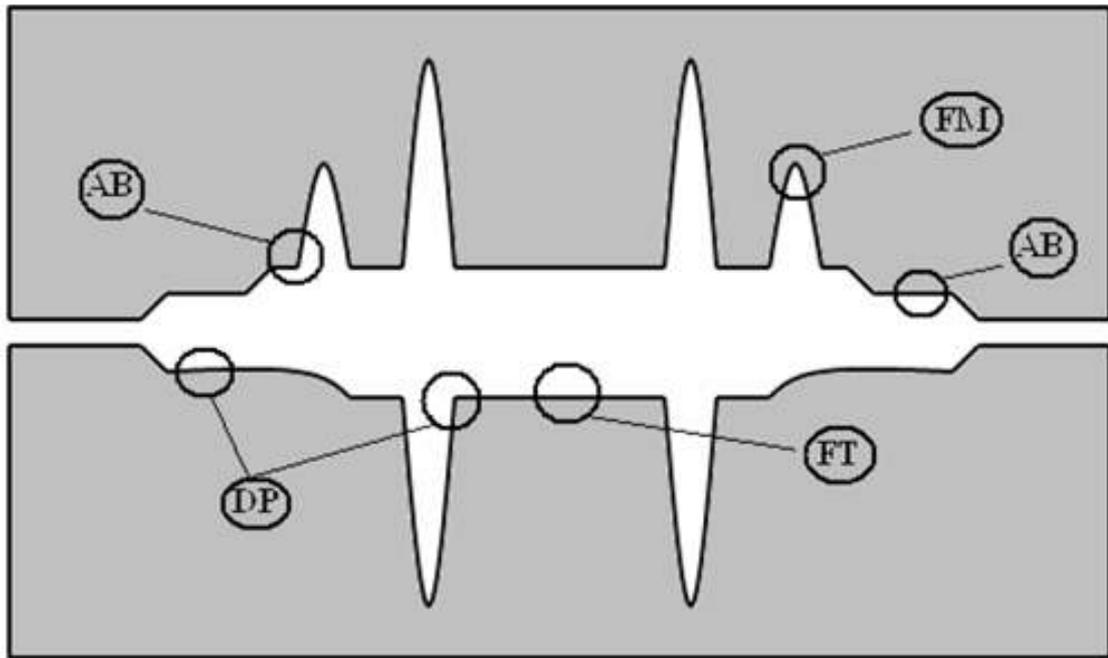


Рисунок 29 – Взаимодействие параметров износа [17]

Режим разрушения напрямую связан с геометрией поверхности и термомеханическими напряжениями, возникающими от нее (Рисунок).



FM - механическая усталость DP - пластическая деформация
 FT - термическая усталость AB - абразивный износ

Рисунок 30 – Диаграмма, иллюстрирующая режимы разрушения инструмента и их расположение на активной поверхности инструмента: пластическая деформация DP, термическая FT и механическая FM усталости, абразивный износ AB [18]

Увеличение срока службы инструмента требует учета технологического процесса, геометрии оснастки и преобладающих механизмов разрушения и проходит через выбор материалов с высокой устойчивостью к термомеханическим напряжениям, следовательно, материалы должны обладать отличными трибологическими, механическими и тепловыми свойствами(рис.31).

Сопротивление пластической деформации

- ❖ Высокая твердость
- ❖ Высокий предел упругости

Сопротивление механической усталости

- ❖ Снижение хрупкости, за счет выбора термической обработки
- ❖ Проектирование необходимой зоны покрытия
- ❖ Высокая вязкость материала

Сопротивление термической усталости

- ❖ Ограничение температурных градиентов: низкий коэффициент расширения и высокая теплопроводность
- ❖ Высокая пластичность
- ❖ Высокая прочность
- ❖ Релаксация напряжений

Сопротивление износу

- ❖ Низкий коэффициент трения при высоких температурах
- ❖ Постоянная твердость в зависимости температур

Рисунок 31 – Требуемые свойства материала в зависимости от типа сопротивления к разрушению

3.4. Способы нанесения покрытий

3.4.1 Погружение в расплав

В основе данного метода лежит механическое погружение упрочняемого изделия в ванну с расплавленным металлом, выдержка его в ванне в течение заданного времени. После извлечения изделия из ванны на его поверхности образуется твердая металлическая пленка того же состава, что и металл ванны (рис. 32)[19].

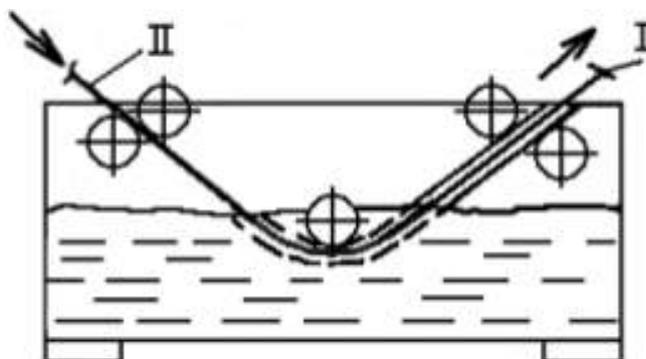


Рисунок 32 – Схема метода нанесения покрытий погружением в расплав; I- материал с покрытием, II –исходный материал

На границе раздела покрытие – основной материал возникает сложная структура, определяемая видом диаграммы состояний металла покрытия и материала изделия. Поэтому перед нанесением покрытия методом погружения следует проанализировать диаграмму состояний и установить характер образующейся переходной зоны (рис.33). В зависимости от вида диаграммы состояний может быть образована зона сплошного ряда твердых растворов α (диаграмма с неограниченной растворимостью) (рис.33 а); зона, включающая в себя области твердых растворов с ограниченной растворимостью α и β (рис.33 б); зона с дополнительным пограничным слоем, содержащим интерметаллическую фазу γ (рис.33 в)[20].

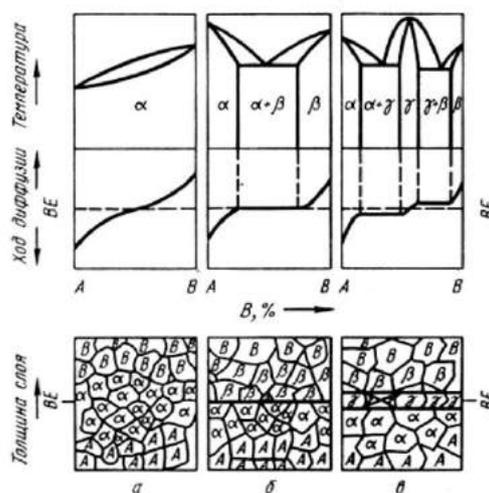


Рисунок 33– Ход диффузии и схематическое изображение структуры в бинарных системах различных типов А-В

Главным механизмом, контролирующим образование переходной зоны, является диффузия. При погружении изделия в ванну с жидким металлом (после смачивания) в результате диффузии формируются твердые фазы переходной зоны, а после извлечения из расплава на поверхности образуется слой твердого покрытия соответствующий составу ванны.

3.4.2 Плакирование

Плакированные материалы представляют собой двух- или многослойные материалы, полученные методом плакирования, т.е. различными методами

механического соединения. Свойства плакированных материалов могут превосходить свойства отдельных исходных материалов и зависят от сочетания выбранных материалов основы и покрытия. Можно получить комбинацию свойств в одном изделии: прочность и пластичность, коррозионно- и износостойкость, сочетание физических свойств (электрические, магнитные, тепловые и т.д.)[21].

Прочность сцепления контактирующих металлических слоев зависит от многих факторов. В первую очередь отметим условия получения физического контакта: развитая топография поверхности с учетом ее тонкой структуры, разрушение оксидных пленок и увеличение площади поверхности сцепления при обработке плакированных материалов давлением.

Важным технологическим параметром при плакировании является температура. При повышении температуры поверхностная энергия и пластичность большинства металлов увеличиваются, а процессы диффузии протекают более интенсивно, благодаря чему достигается более высокая прочность сцепления[22].

3.4.3 Эмалирование

Для защиты поверхности от коррозии при высоких температурах, от воздействия агрессивных сред, для повышения износостойкости широкое применение нашли эмалевые покрытия. В общем случае они включают в себя несколько типов покрытий: Эмалевые (стекловидные), стеклокерамические, стеклометаллические и керамические[23]. Всех их объединяет вид технологического процесса нанесения покрытия – подготовка поверхности, приготовление эмали (шликера), нанесение шликера на поверхность, сушка и обжиг (при 700 –1000 °С) покрытия. Существует несколько способов нанесения эмали на металлическую поверхность: окунание, пульверизация, полив, электростатический и электрофоретический методы при нанесении мокрым способом. Выбор соответствующего способа определяется как типом материала, конструкцией и требованиями к эмалированной поверхности, так и экономическими соображениями.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		83

Таким образом, эмаль представляет собой стекловидную массу, образующуюся за счет расплава, состоящую из неорганических веществ. Основу эмали составляют окислы кремния. В особых случаях с помощью направленной кристаллизации можно получить эмалевый слой, имеющий кристаллическую структуру[24].

По назначению все эмали можно разделить на две группы: грунтовые и покровные. Грунтовая эмаль равномерно распределяется непосредственно на поверхности металла и обеспечивает сцепление между покровной эмалью и металлом. Для достижения хорошего сцепления, особенно для грунтовых эмалей, наносимых на листовую материал, необходима добавка окислов сцепления. Покровная эмаль определяет потребительские свойства изделия. Эти эмали можно классифицировать, например, на прозрачные, цветные и тусклые, кислотостойкие, высококислотостойкие и стойкие к щелочам. Соответственно назначению эмали могут иметь самые разные составы. Цветные эмали содержат краситель, который входит или в структуру стекла или тонко диспергирован в стекле. В качестве красителей используют окись кобальта (голубой цвет), окись хрома (зеленый), сульфид кадмия (желтый), окись железа (коричневые тона), сульфид кадмия + селенид кадмия (красный), смесь окисей хрома, кобальта, марганца, железа и меди (черный)[25].

3.4.4 Напыленные покрытия (газотермические покрытия)

Среди других методов нанесения покрытий технологии напыления обладают заметным преимуществом. Во-первых, универсальностью выбора материала покрытий: покрытия металлические, полимерные, керамические, композиционные, покрытия из материалов с низкой и высокой температурой плавления, аморфные покрытия. Согласно приведенной выше классификации все технологии напыления можно разделить на две группы: газотермическое напыление и вакуумно-конденсационное напыление. При этом внутри каждой группы существует целый ряд методов напыления различающихся источником подводимой энергии, физикой протекающих процессов[26]. Особенностью

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

методов газотермического напыления (ГТН) является то, что получаемое покрытие формируется из направленного потока дисперсных частиц со средним размером 10-200 мкм (рис.34). Структура материала покрытия формируется при ударе, деформации и затвердевании нагретых частиц на поверхности основы (подложки) или предыдущих остывших частиц. При этом образуется слоистый материал, состоящий из деформированных частиц (сплэтов), соединенных контактными участками.

В зависимости от источника теплоты и движущих сил переноса различают следующие методы напыления: плазменное, газопламенное, детонационное, дуговая металлизация и высокочастотная металлизация. В первых трех методах источник нагрева совмещен с источником распыления и ускорения частиц. При дуговой и высокочастотной металлизации источники нагрева и ускорения разделены.

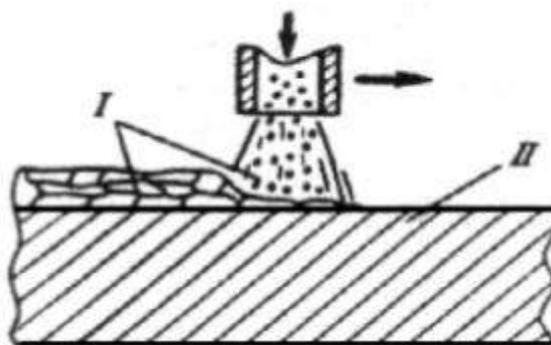


Рис.34 – Схема нанесения газотермических покрытий; I – материал покрытия, II – изделие

Для создания потока частиц используют либо порошки, либо проволоку (стержни). При использовании проволоки поток частиц образуется посредством расплавления проволоки и ее распыления скоростным потоком автономного газа или самим источником теплоты (плазменной, газопламенной струей).

Процесс газотермического напыления покрытий представляет собой сложную совокупность физико-химических механических явлений. Его можно разделить на два основных этапа: формирование двухфазного потока (газовой струи с дисперсными частицами) и самого покрытия (рис.35)[27].

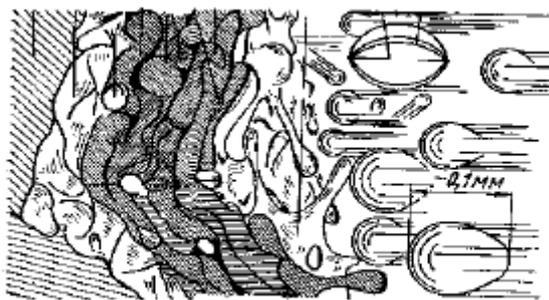


Рисунок 35 – Процесс нанесения покрытия

К первому этапу относится процесс взаимодействия высокотемпературного газового потока и частиц, включающий в себя теплообмен и нагрев частиц, их ускорение при передаче количества движения от струи газового потока[28]. На практике желательно получить перегрев напыляемых частиц момент их подлета к поверхности (а 50 – 100°С выше температуры плавления материала частиц), с целью повышения прочности сцепления за счет увеличения пятна химического взаимодействия на границе частица подложка.

На втором этапе формируется покрытие при соударении расплавленных частиц с поверхностью основы, в результате чего частицы плотно ложатся друг на друга и, растекаясь, заполняют неровности шероховатой поверхности. Благодаря их высокой температуре в зоне контакта возникают участки схватывания (приваривания), и частицы прочно соединяются между собой и с основой с образованием сложной структуры покрытия (рис. 36). Граница раздела между покрытием и основой – 1 определяет прочность соединения сцепления между частицами по границе – 3 (когезия покрытия). Граница раздела между слоями (межслойная граница) – 2, полученная за один проход распылителя, возникает из-за различной выдержки во времени между нанесением частиц в слое и между слоями, в результате чего поверхность слоя покрытия загрязняется, окисляется. Пятно химического взаимодействия не заполняет всю площадь контактной поверхности между частицами и основой. Его диаметр – D_x зависит от интенсивности межатомного взаимодействия на границе частица – подложка[29].

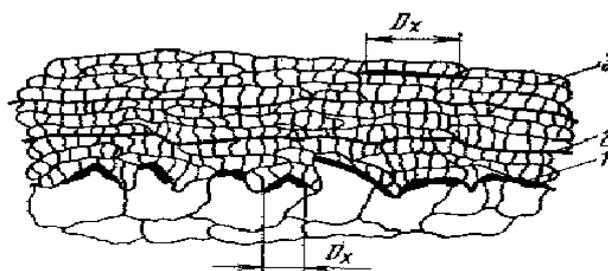


Рисунок 36 – Схема структуры покрытия

Метод ГТН позволяет получать покрытия с заданной твердостью, износостойкостью, жаропрочностью, антифрикционностью, коррозионной стойкостью. Применять газотермические покрытия выгодно при любых масштабах производства – от индивидуального малосерийного до высокопроизводительного автоматизированного.

Высокая эффективность и универсальность этого метода определяется следующими особенностями: возможностью нанесения покрытий из различных материалов – чистых металлов, сплавов, оксидов, боридов, карбидов и их сочетанием в различных пропорциях; возможностью получения покрытий на самых различных конструкциях и материалах – на металлах, стеклах, керамике, пластмассах и т.д.; малой деформацией напыляемого изделия; низким расходом материала покрытия, толщина которого составляет 0,1 –1,0 мм; высокой производительностью (от 1 кг/ч до нескольких десятков и даже сотен кг/ч в зависимости от способа напыления. Большим достоинством метода ГТН является возможность изменять в процессе напыления состав материала и его структуру от обычной до мелкозернистой и аморфной, что позволяет регулировать в широких пределах свойства получаемого покрытия[29].

3.4.5 Метод лазерной наплавки

3.4.5.1 Презентация процесса

Лазерная наплавка состоит из осаждения на поверхность детали слоя материала [16]. Присадочный металл транспортируется в виде порошка с инертным газом, а затем вводится коаксиально в лазерный луч (рис. 37). Метод обеспечивает свойства поверхности осажденного материала [30]. Лазерная наплавка покрытий обеспечивают высокую устойчивость к износу, коррозии и

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

окислению при высоких температурах [31]. Этот процесс наиболее часто применяется для ремонта и восстановления дорогостоящих компонентов, таких как инструментальная оснастка. Интеграция модели системы автоматизированного проектирования (CAD) позволяет программировать движение сопла лазера, следовательно, этим методом можно создавать геометрически сложные поверхности[32].

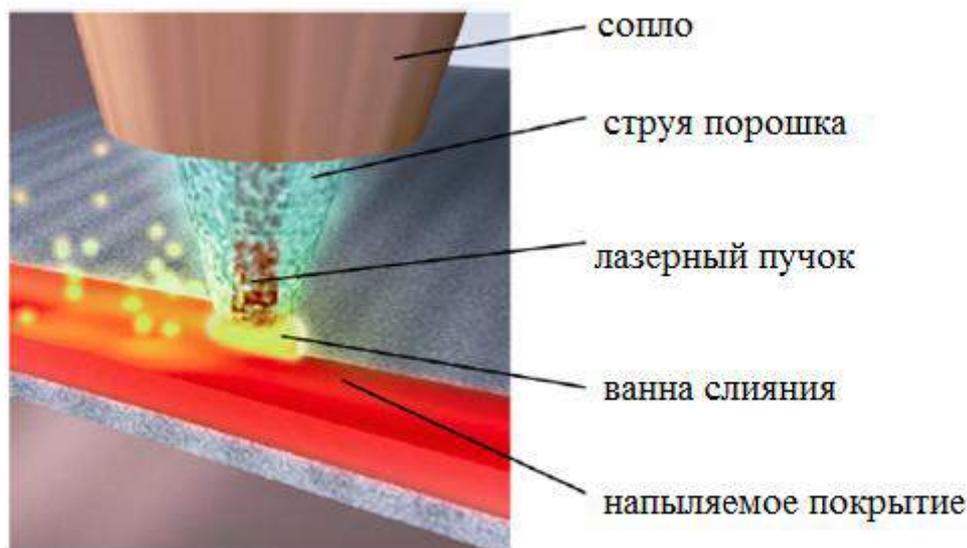


Рисунок 37 – Схема процесса лазерной наплавки

Сравнение различных методов поверхностного улучшения поверхности приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Характеристики различных процессов ремонта, восстановления инструмента [33,34]

	Лазер	Полуавтомат. Сварка	Ручная сварка	Порошковая наплавка
Толщина (мм)	0.2-2.0	1-6	0.5-3.0	1-5
Скорость осаднения (кг/ч)	0.5-4	1-6	0.5-4	0.5-7

Продолжение таблицы 23

Возникновение диспропорция	Низкое	Среднее	Высокое	Среднее
Точность	Высокая	Низкая	Средняя	Средняя
Разбавление(%)	1-5	10-40	10-20	5-20
Плотность*	1	4	4	2
* Относительное значение (самый эффективный индекс 1)				

Процесс лазерной наплавки имеет ряд преимуществ перед обычными методами. Высокая плотность энергии в пятне нагрева позволяет осаждение при высоких скоростях сканирования [35]. При изменении технологических параметров лазерной наплавки, можно определить оптимальные условия процесса, позволяющие сократить зоны разведения покрытия с подложкой и зоны термического влияния (ЗТВ), таким образом контролировать микроструктуру и функциональные свойства покрытия (рис. 38) [36].

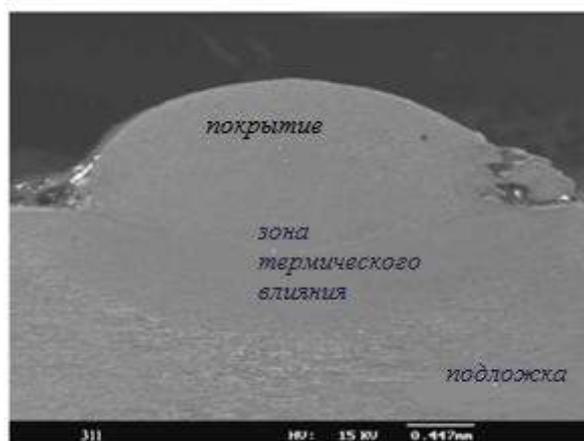


Рисунок 38– Поперечное сечение образца с покрытием [37]

Оптимизация технологических параметров имеет важное значение :

- Осаждение слоя с низким коэффициентом разбавления после небольшого плавления основного материала [38];
- Ограничение теплового воздействия на материальную базу, что особенно важно для материалов, испытывающих фазовые и структурные превращения [39];
- Низкий показатель остаточных деформаций [40];

- Улучшение эксплуатационных свойств осажденных слоев по сравнению с покрытиями, полученными традиционными методами [41];

Это позволяет:

- Автоматизировать процесс, повысить универсальность (лазерная наплавка позволяет производить покрытия и изделия любой сложности [42];

- Снизить воздействие на окружающую среду [43].

Технология лазерной наплавки позволяет использовать те же порошки, что и традиционные методы, отвечающие по качеству всем стандартным требованиям [44] для обеспечения необходимого качества покрытия. Размер и форма частиц порошка влияет на производительность метода, структуру и свойства материалов [45].

Таким образом, с одной стороны малых деформаций, а также высокая производительность создает условия для использования лазерной проекции не только для нанесения покрытий, но и для прямого производства механических частей [46].

3.4.5.2 Параметры лазерной наплавки

Широкий выбор рабочих параметров и физических явлений, определяет качество лазерной наплавки. В таблице 24 приведены входные и выходные параметры, вовлеченные в этот процесс. Как правило, рабочие параметры являются входными данными или параметрами лазера, это мощность лазера, скорость сканирования, скорость подачи порошка, а также свойства материала и окружающей среды[47]. Выходные параметры – это параметры описывающие качество геометрии покрытия, его микроструктуру, наличие трещин и пористости, состояние поверхности, остаточные напряжения и уровень разбавления.

Рабочие параметры должны быть тщательно продуманы, так как изменение одного из параметров непосредственно позволяет регулировать геометрию покрытия, его качество, окончательную микроструктуру и свойства[48].

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

Таблица 24 – Входные и выходные параметры и физические явления, связанные в процессе лазерной наплавки [49]



3.5. Выбор материалов

3.5.1. Типы материалов

Основные сплавы для нашего приложения, имеющие высокие механические свойства, можно разделить на три категории в зависимости от их основных легирующих элементов: сплавы на основе кобальта, на основе железа, на основе никеля. На рисунке 39 показана диаграмма сравнения различных сплавов, в соответствии с их ударной прочностью, износостойкостью и их жаростойкостью[50].



Рисунок 39 – Карта сплавов на основе кобальта, железа и никеля как функции в соответствии с их уровнем износостойкости, ударной прочности и жаростойкости [50]

Сплавы на основе железа.

Сплавы на основе железа широко используются, начиная от низколегированных сталей, заканчивая сталями легированными: Cr, Mo, W, Co, Nb, Ta, V, с содержанием углерода от 0,08% и 0,38% [51]. Сплавы на основе железа в основном используются для покрытий черных поверхностей. Сплавы легированные Mo образуют карбиды типа M_6C , которые улучшают износостойкость покрытия. Другие элементы способствуют улучшению окисления и коррозии. Тем не менее, сплавы на основе железа не могут достаточно продлить жизнь матрицы из-за их чувствительности к размягчению.

Сплавы на основе кобальта.

Наиболее популярные сплавы на основе кобальта – семейство сплавов ВК (CMnNiCrWCo). Сплавы пронумерованы в соответствии с количеством хрома, углерода, железа, кремния и никеля, содержащихся в нем. Хром в сочетании с

углеродом образует такую форму карбидов, которая усиливает кобальтовую матрицу. Никель добавляется для увеличения пластичности[52]. Другие элементы добавлены для улучшения различных свойств, например, такие как вольфрам и молибден (они имеют большой атомный радиус) позволяют обеспечить устойчивость к усталости. ВК имеют хорошую стойкость к окислению, эрозии, истиранию, при температурах до 90% от их температуры плавления.

Сплавы на основе никеля.

Сплавы на основе никеля обычно содержат хром, бор, углерод, кремний и алюминий. Образование твердых и боридов из карбида кремния повышает твердость и износостойкость. Бор и кремний также могут улучшить смачиваемость отдельных элементов в расплаве. Алюминий в сочетании с никелем образует твердые интерметаллические фазы, такие как Ni_3Al и Ni_2Al_3 . Карбиды, такие как вольфрам и хром могут быть добавлены в ограниченных количествах, чтобы обеспечить дополнительную устойчивость к абразивному износу[53].

3.5.2 ВЗК

В оставшейся части данного исследования, мы решили работать с композитным материалом на основе ВЗК с добавлением армирующей фазы TiC. В таблице 25 приведен химсостав сплава.

Таблица 25 – Химический состав сплава ВЗК

Fe	C	Si	Ni	S	Cr	W	Co
до 2	1-1,3	2-2,75	до 2	до 0,07	28-32	4-5	54,8-65

Допускается содержание Mo до 2%.

Покрытие ВЗК + TiC также может быть использовано в качестве теплового барьера для ограничения потока тепла к матрице и ее смягчения. Действительно, добавление TiC в ВЗК 6 сопровождается снижением теплопроводности композиционного материала, так как TiC считается отличным огнеупором.

3.5.3 Свойства композиционных материалов для упрочнения штамповой оснастки для горячей объемной штамповки

Общие сведения о композиционных материалах

В современной литературе по обработки поверхности лазером предъявляется повышенный интерес к композиционным покрытиям, содержащим различные по объёму фракции твердых частиц. В частности, металл-карбидные композиционные покрытия показали большой потенциал в качестве износостойких и антикоррозионных решений. [54-58]

Композиционный материал представляет собой совокупность как минимум двух материалов, в частности армирующую фазу, которая обеспечивает механическую прочность металлической матрицы, которая, в свою очередь, обеспечивает единство структуры. Композитный материал обладает свойствами элементов, взятых по отдельности. В композитах конструкционного назначения армирующие элементы обычно обеспечивают необходимые механические характеристики материала (прочность, жесткость и т.д.), а матрица (или связующее) обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических повреждений и агрессивной химической среды и обеспечивает жаростойкость [59].

Механическое поведение композиции определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними. Эффективность и работоспособность материала зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик.

В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композиции, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми изолированные компоненты не обладают (рисунок 40) [60].

В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала. и в композициях.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		94

в отличие от однородных металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения.



Рисунок 40 – Классификация композиционных материалов на основе металлов, неметаллов и керамики

Композиционные материалы имеют целый ряд преимуществ:

- Высокая удельная прочность;
- Высокая жесткость;
- Высокая износостойкость;
- Высокая усталостная прочность;
- Устойчивость к деформации структуры.

Композитные материалы, как правило, делятся на три группы в зависимости от типа армирующего наполнителя: слоистые, волокнистые и керамические (армирующий компонент — частицы). В лазерной наплавке, композиционные материалы, как правило, керамические (рис. 41).

Можно получить композиционные материалы с требуемым сочетанием свойств, под выполнение конкретных задач [61-64].

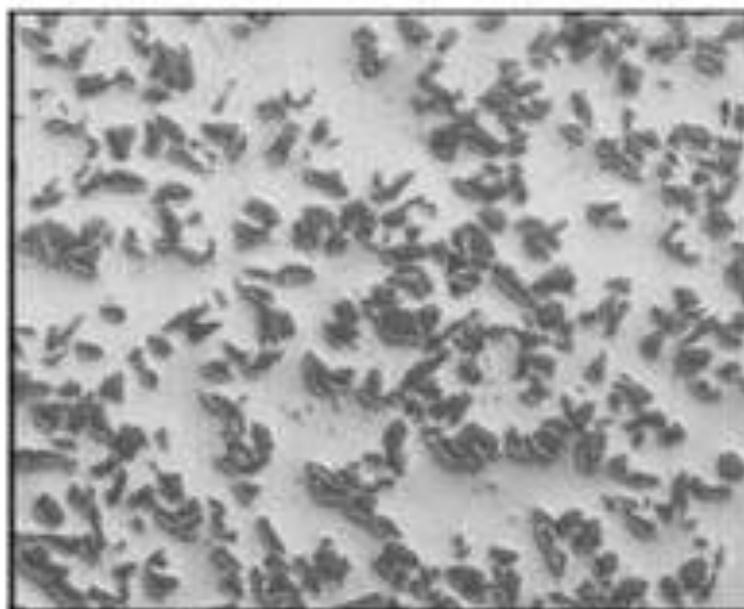


Рисунок 41 – Тип структуры материалов: керамическая

Композиционные материалы с керамической структурой превосходят традиционные металлы и сплавы с высокой термической стабильностью, высокой усталостной прочностью и высокой ударной вязкостью [65]

Характеристики армирующих фаз

В целом, армирующие фазы в основном огнеупорные материалы. В частности, они используются для производства износостойких, жаропрочных, коррозионностойких, а также покрытий устойчивых к тепловым ударам, с особыми физическими и механическими свойствами. Такие огнеупорные материалы имеют широкое применение [66].

Тугоплавкие металлы переходных элементов групп от 4 до 7 периодической таблицы Менделеева, которые, имеют перестановку внутренних электронных уровней при прохождении элемента к соседнему элементу. Это титан, цирконий, гафний (группа 4), ванадий, ниобий, тантал (группа 5), молибден, вольфрам (группа 6) и рений (группа 7) (рисунок 42).

<http://www.kf-split.hr/periodni/>

1	IA	1	1.0079	H	HYDROGEN	2	IIA	4	9.0122	Be	BERYLLIUM	13	IIIA	5	10.811	B	BORON	14	IVA	6	12.011	C	CARBON	15	VA	7	14.007	N	NITROGEN	16	VIA	8	15.999	O	OXYGEN	17	VIIA	9	18.998	F	FLUORINE	18	VIIIA	2	4.0026	He	HELIUM																																																												
3		3	6.941	Li	LITHIUM	4		4	9.0122	Be	BERYLLIUM	13		5	10.811	B	BORON	14		6	12.011	C	CARBON	15		7	14.007	N	NITROGEN	16		8	15.999	O	OXYGEN	17		9	18.998	F	FLUORINE	18		10	20.180	Ne	NEON																																																												
11		11	22.990	Na	SODIUM	12		12	24.305	Mg	MAGNESIUM	13		13	26.982	Al	ALUMINIUM	14		14	28.086	Si	SILICON	15		15	30.974	P	PHOSPHORUS	16		16	32.065	S	SULPHUR	17		17	35.453	Cl	CHLORINE	18		18	39.948	Ar	ARGON																																																												
19		19	39.098	K	POTASSIUM	20		20	40.078	Ca	CALCIUM	21		21	44.956	Sc	SCANDIUM	22		22	47.867	Ti	TITANIUM	23		23	50.942	V	Vanadium	24		24	51.996	Cr	CHROMIUM	25		25	54.038	Mn	MANGANESE	26		26	55.845	Fe	IRON	27		27	58.933	Co	COBALT	28		28	58.693	Ni	NICKEL	29		29	63.546	Cu	COPPER	30		30	65.39	Zn	ZINC	31		31	69.723	Ga	GALLIUM	32		32	72.64	Ge	GERMANIUM	33		33	74.922	As	ARSENIC	34		34	78.96	Se	SELENIUM	35		35	79.904	Br	BROMINE	36		36	83.80	Kr	KRYPTON
37		37	85.468	Rb	RUBIDIUM	38		38	87.62	Sr	STRONTIUM	39		39	88.906	Y	YTRIUM	40		40	91.224	Zr	ZIRCONIUM	41		41	92.906	Nb	NIObium	42		42	95.94	Mo	MOLYBDENUM	43	(98)	43	(98)	Tc	TECHNETIUM	44		44	101.07	Ru	RUTHENIUM	45		45	102.91	Rh	RHODIUM	46		46	106.42	Pd	PALLADIUM	47		47	107.87	Ag	SILVER	48		48	112.41	Cd	CADMIUM	49		49	114.82	In	INDIUM	50		50	118.71	Sn	TIN	51		51	121.76	Sb	ANTIMONY	52		52	127.60	Te	TELLURIUM	53		53	126.90	I	IODINE	54		54	131.29	Xe	XENON
55		55	132.91	Cs	CAESIUM	56		56	137.33	Ba	BARIUM	57-71		57-71	La-Lu	Lanthanide	72		72	176.49	Hf	HAFNIUM	73		73	180.95	Ta	TANTALUM	74		74	183.84	W	TUNGSTEN	75		75	186.21	Re	RHENIUM	76		76	190.23	Os	OSMIUM	77		77	192.22	Ir	IRIDIUM	78		78	195.08	Pt	PLATINUM	79		79	196.97	Au	GOLD	80		80	200.59	Hg	MERCURY	81		81	204.38	Tl	THALLIUM	82		82	207.2	Pb	LEAD	83		83	208.98	Bi	BISMUTH	84	(209)	84	(209)	Po	POLONIUM	85	(210)	85	(210)	At	ASTATINE	86	(222)	86	(222)	Rn	RADON	
87	(223)	87	(223)	Fr	FRANCIUM	88	(226)	88	(226)	Ra	RADIUM	89-103		89-103	Ac-Lr	Actinide	104	(261)	104	(261)	Rf	RUTHERFORDIUM	105	(262)	105	(262)	Db	DUBNIUM	106	(266)	106	(266)	Sg	SEABORGIUM	107	(264)	107	(264)	Bh	BOHRIUM	108	(277)	108	(277)	Hs	HASSIUM	109	(268)	109	(268)	Mt	MEITNERIUM	110	(281)	110	(281)	Uun	UNUNUNIUM	111	(272)	111	(272)	Uuu	UNUNUNIUM	112	(285)	112	(285)	Uub	UNUNBIUM	114	(289)	114	(289)	Uuq	UNUNQUADIUM																															

Рисунок 42 – Периодическая таблица элементов (тугоплавкие металлы выделены отдельно)

Характеристика карбидной фазы.

Карбиды - химические соединения углерода с тугоплавкими металлами и неметаллами, в структуре которых отсутствует кислород. Таким образом, они представят общий тип формулировки $HuSx$. Они имеют высокую твердость и химически инертны (низкая химическая активность и хорошая устойчивость к коррозии). Карбиды используются в покрытиях, которые подвергаются, как правило, абразивному износу и высоким ударным нагрузкам [67]. В таблице 26 представлены основные типы карбидов и их влияние на износостойкость, в зависимости от типа матрицы [68].

Таблица 26 – Влияние различных карбидов на износостойкость, в зависимости от типа матрицы

WC	Карбид вольфрама, легко растворяется в матрице материала (на основе железа, кобальта и никеля). Из двух типов карбида титана (сферические и угловые) лучше использовать - сферические (лучшее решение в матрице). WC (30-50% об.) Улучшает износостойкость.
TiC	Карбид титана является чрезвычайно твердой огнеупорной керамикой. С точки зрения технологии, TiC имеет преимущества перед другими карбидами. TiC используется в матрицах на основе кобальта, никеля и железа. Образование вторичных карбидов оказывает благоприятное влияние на свойства покрытий. В основе кобальтовой матрицы, карбид титана (30% об.) показывает наилучшие результаты на износостойкость.

Продолжение таблицы 26

VC	Карбид ванадия имеет высокое растворение во всех типах матриц, вследствие чего образуются поры. Формирование вторичных карбидов способствует улучшению износостойкости. Карбида ванадия (30-50% об.) показывает наилучшие результаты на износостойкость при использовании в композиционных материалах на основе железа.
CrC	Карбидов хром, как известно, легко растворяется и поэтому они довольно редко используются в покрытиях для лазерной наплавки. С другой стороны, существует большое количество карбидов в реформированной матрице. CrC (50% об.) оказывает лучшее влияние на износостойкость в матрицах на основе никеля.

Устойчивость карбидов может быть оценена по теплоте образования (таблица 27).

Таблица 27 – Теплота образования карбидов [69]

Тип карбида	ZrC	TiC	VC	Mo ₂ C	SiC	WC
Теплота образования, кДж/мол	242.7	209.2	205.0	175.7	66.1	60.7

Порядок формирования и выпадения карбидов, соответствует мощности образования элементов и зависит от формы карбидов и их уровня химического сродства [70].

Если разница велика между параметрами решетки карбидной фазы и решетки материала матрицы, тем больше будет наблюдаться растворимость карбидов в покрытии [71].

Все эти особенности определяют необходимые условия для формирования карбидов в сплаве при наличии нескольких элементов, а также порядок их растворения и образование различных по типу осадков.

3.6 Выводы

Анализ основных режимов разрушения инструментов горячей штамповки показал, что основными механизмами повреждения являются:

- пластическая деформация;
- механическая усталость;
- термической усталость;
- абразивный износ.

Применение износостойких сплавов на основе кобальта и никеля, а также интерметаллических материалов для обеспечения необходимой защиты инструментов для ОМД, актуально.

Из трех видов сплавов: на основе кобальта, никеля и железа, основой являются кобальтовые сплавы, которые обладают максимальной износостойкостью и способны сохранять лучшие механические свойства при высоких температурах и т.д. [72].

Выбор пал на ВЗК, осажденный методом лазерной наплавки, так как ему свойственны горячая твердость и износостойкость. Сплав на основе кобальта, содержащий 1,2% углерода и 4,6% вольфрама известен как износостойкий сплав. Этот материал используется на рабочих поверхностях, подвергающихся тяжелым агрессивному или абразивному износу при комнатных и повышенных температурах.

Композиционные покрытия, содержащие различные по объёму фракции твердых частиц представляют для данной проблематики особый интерес. Использование сплава ВЗК в виде матрицы с различными армирующими фазами

должно предоставить материалы с улучшенными термомеханическими характеристиками.

В качестве армирующей фазы, актуальнее всего использовать карбид титана TiC, но это чрезвычайно трудно. TiC обладает отличными физико-механическими и тепловыми свойствами по сравнению с другими армирующими фазами (Приложение В). Поэтому целесообразно работать с композиционным материалом на основе кобальтового сплава армированного частицами TiC (30% об.) для получения покрытий более устойчивых к износу.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

4 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Анализ порошка

В исследовании использовались коммерческие порошки: ВЗК и карбид титана TiC. Порошки ВЗК и TiC были предварительно смешанны. Покрытие производилось на плоской стальной подложке с номинальными размерами 50x50x15 мм. Перед осаждением, поверхность подложки была очищена спиртом.

Частицы порошка ВЗК имеют морфологию близкую к сферической или эллиптической (рис. 43)[73]. Наблюдение в сканирующем электронном микроскопе показывает наличие агломератов. Метод производства порошка ВЗК – газовое распыление. Размер частиц порошка колеблется между $d_{10}=77 \mu\text{m}$ и $d_{90}=130 \mu\text{m}$, средний диаметр $d_{50}=110 \mu\text{m}$ (рис. 44).

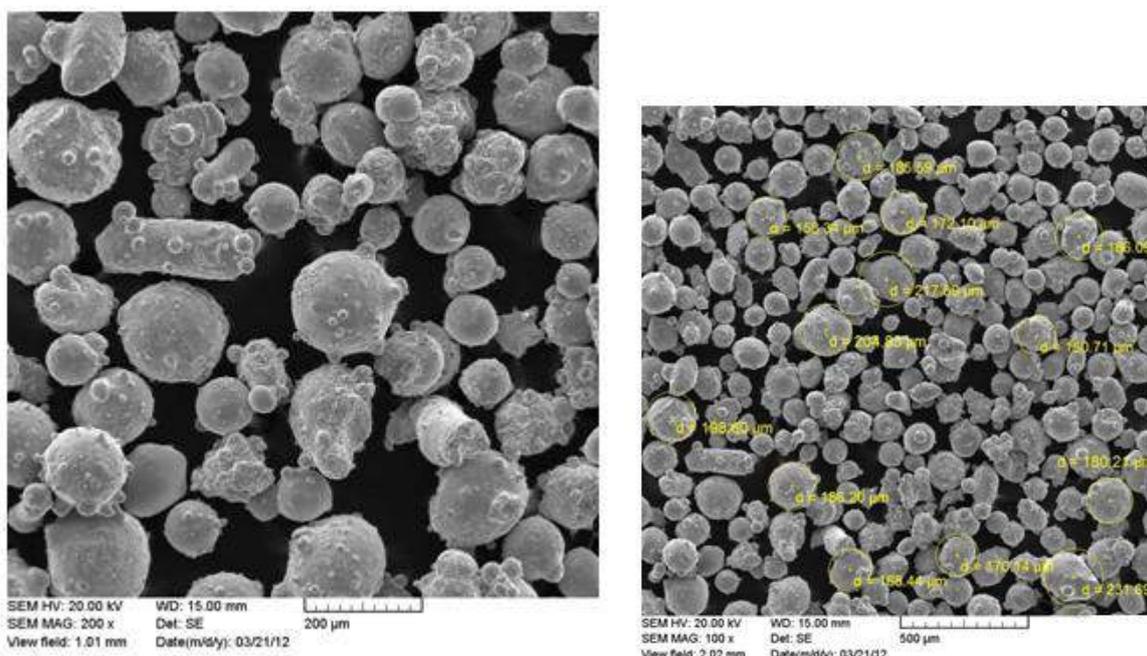


Рисунок 43 – Типичная форма частиц порошка ВЗК

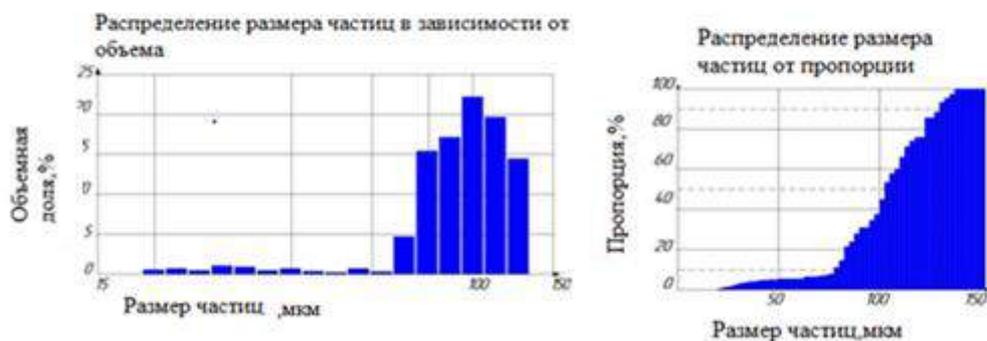


Рисунок 44– Анализ размера частиц порошка ВЗК

Карбид титана получают путем реактивного синтеза титана и избыточного количества графита, затем следует дробление и измельчение[74]. Частицы имеют угловую морфологию после механического измельчения (рис. 45). Размер частиц порошка карбида титана находится в диапазоне от $d_{10}=30 \mu\text{м}$ до $d_{90} = 30 = 97 \mu\text{м}$, средний диаметр $d_{50}= 70 \mu\text{м}$ (рис. 46).

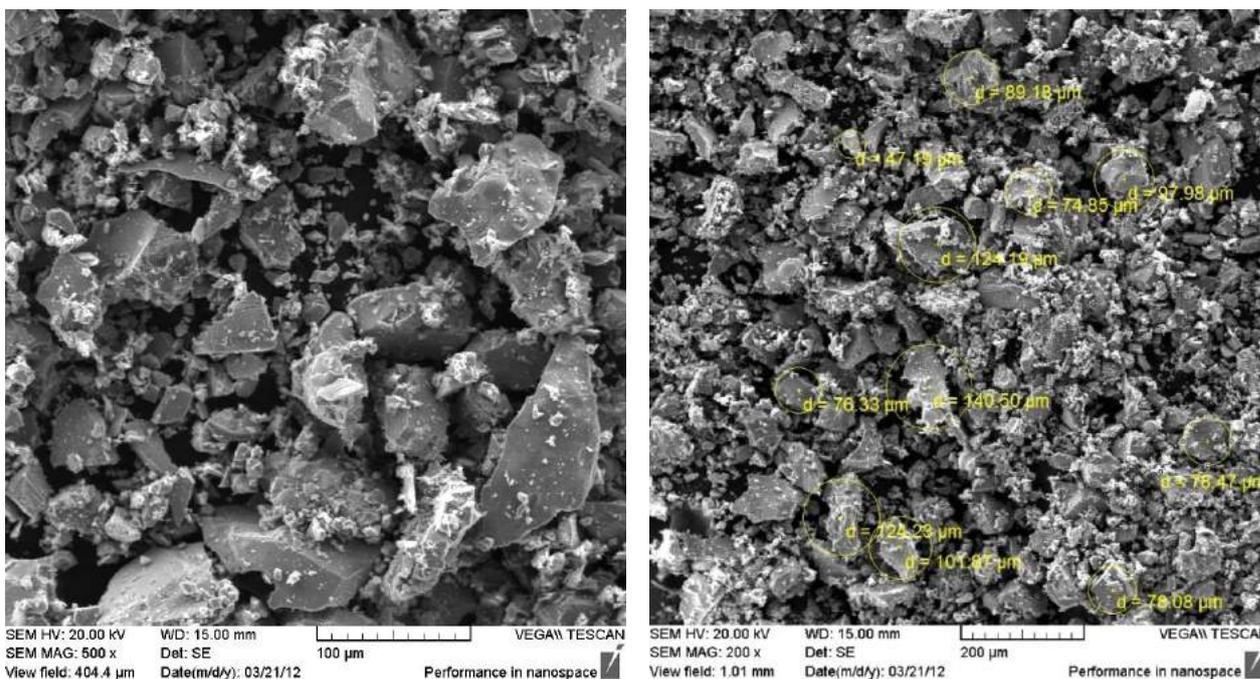


Рисунок 45 – Типичная форма частиц порошка TiC

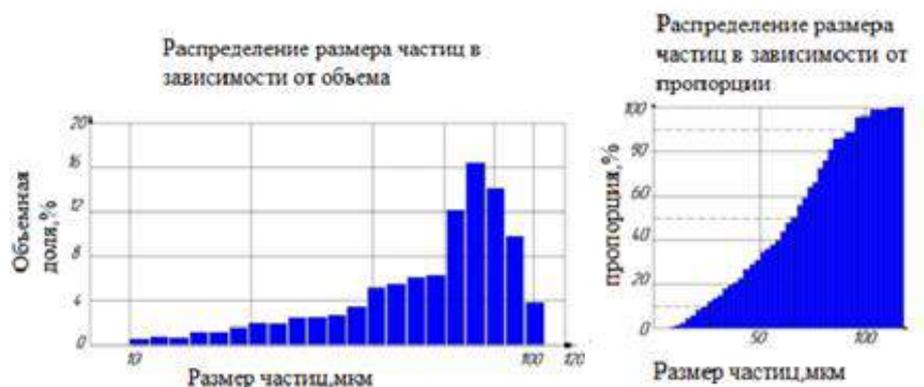


Рисунок 46 – Анализ размера частиц порошка TiC

4.2 Экспериментальная установка

Наплавку покрытия производилась на промышленной машине ИВЭ Полус ЛС-8К, оснащенной CO₂-лазером, имеющей максимальную мощность 5 кВт (рис. 47)[75]. Система транспортировки порошка включает в себя:

- коаксиальное сопло, установленное в месте обработки на 5-осевую систему с численным программным управлением
- непосредственно система подачи порошка.

Порошок выдувается инертным газом, а затем вводится вместе с газом в зону обработки с помощью коаксиального сопла (рис. 48). Используют различные типы технологического газа (смесь аргона и гелия), которые выполняют следующие функции[76]:

- Защитный газ, подаваемый вдоль центральной оси сопла, защищает оптическую систему от светоотражающих частиц, жидких материалов, различных выбросов и окисления;
- Газ для транспортировки порошка (газ носитель). Смесь газа и порошка через дозатор поступает в сопло и распространяется по всему лазерному лучу в конусе;

- Формировочный газ, способствуют распространению газопорошковой смеси вдоль лазерного излучения, а также защищает зону термического влияния от окисления (внешняя защита сопла).



Рисунок 47 – Промышленная машины ИВЭ Полус ЛС-8К

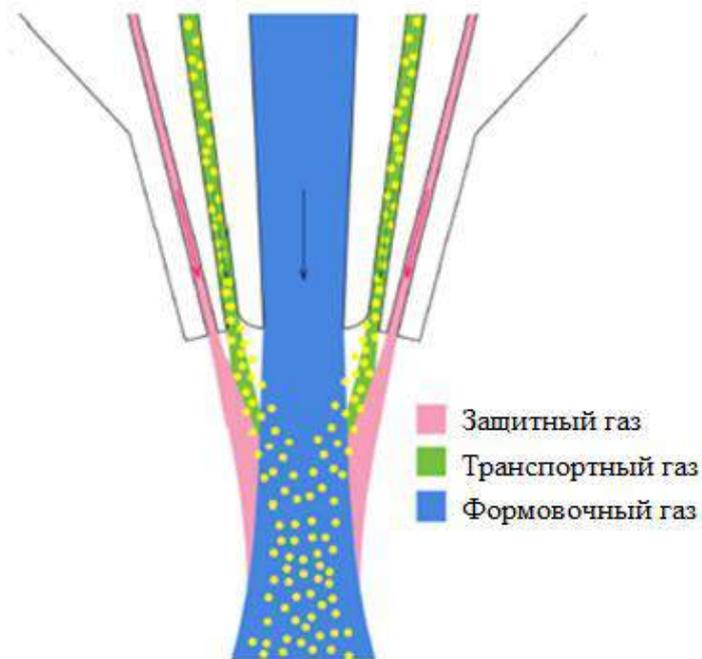


Рисунок 48 – Схема транспортировки технологического газа в коаксиальном сопле

Кроме того, инертный газ препятствует ионизации воздуха, чтобы предотвратить формирование плазмы. Для этого смесь аргона и гелия используется в соотношении 9:1. Расход газа в процессе лазерной наплавки представлен в таблице 28[77].

Таблица 28 – Тип и расход газов, используемых в лазерной наплавке

Тип газа	Расход, л/мин
Формировочный газ	10
Газ носитель <i>Ar</i>	18
Газ носитель <i>He</i>	2
Защитный газ <i>Ar</i>	15
Защитный газ <i>He</i>	1

4.3 Автоматизация процесса

Система управления POM Inc. оснащена тремя CDD камерами для мониторинга размеров наплавленного кордона (рис. 49). Выходные данные из этих камер сканируются и проверяются системой управления, тем самым осуществляя проверку текущих параметров расплава с запрограммированными. Если параметр выше либо ниже заданного, то автоматически происходит регулировка мощности лазерного излучения, параметры подстраиваются под заданные характеристики [78]. Характеристики процесса лазерной наплавки на машине ИВЭ Полус ЛС-8К представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Характеристики процесса лазерной наплавки на машине ИВЭ Полус ЛС-8К [78]

Скорость производства	20 - 150 см ³ /ч
Толщина слоя	0,2 - 1,2 мм
Точность производства	<0,5 мм
Размер порошка	40 - 250 мкм
Материал порошка	Сплавы на основе железа, кобальта, никеля.

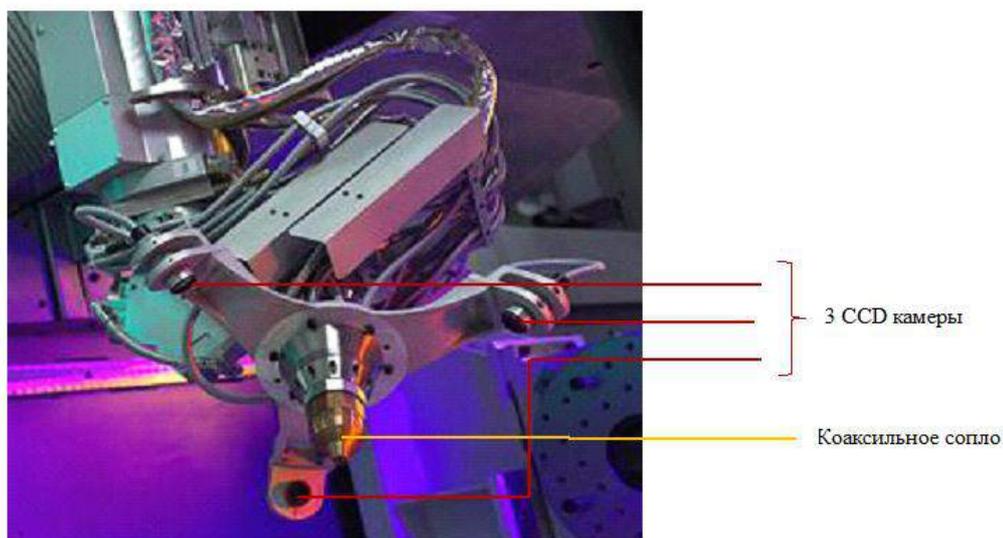


Рисунок 49 – Голова машины ИВЭ Полус ЛС-8К с коаксиальным соплом и 3 CDD-камерами

Интенсивность распределения энергии в лазерном пучке порожденном машиной ИВЭ Полус ЛС-6К является гауссовским и соответствует поперечной электромагнитной волне TEM₀₁ (рис. 50). В качестве активной среды (газ) находится в определенном оптическом резонаторе. Гауссовское распределение производится многократным отражением света от зеркал в резонаторе.

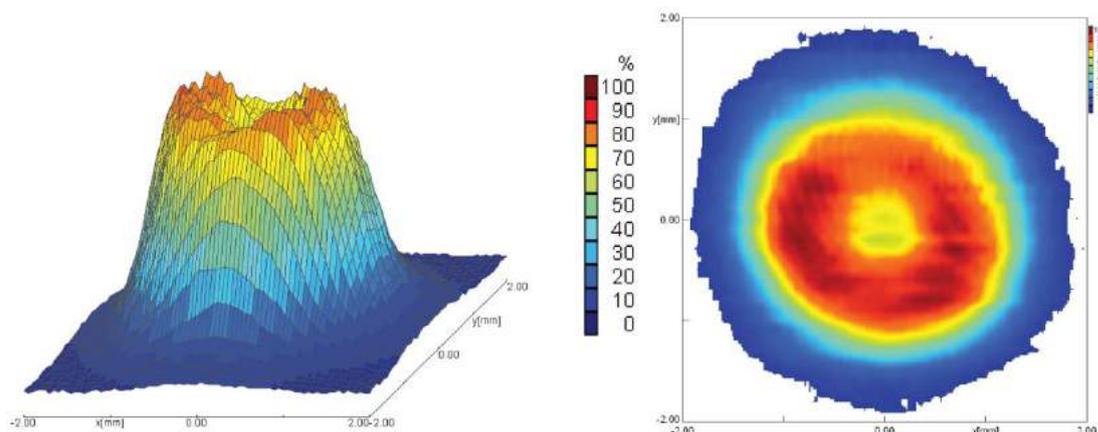


Рисунок 50 – Распределение интенсивности энергии в лазерном пучке порожденном машиной ИВЭ Полус ЛС-6К. Лазерные параметры: P = 5000 Вт, D = 5,5 мм

Режим TEM_{01} гауссова пучка способствует осаждению качественного покрытия с низким показателем разведения и однородной микроструктуры, обеспечивает равномерное распределение температуры в ванне расплавленного металла [79].

4.4 План исследования

Идея использования жаропрочных сплавов на основе кобальта в инструментах для горячей штамповки не является новой, но промышленное применение весьма ограничено[80]. Задача усложняется с добавлением в этот сплав армирующей фазы карбида титана.

Всего необходимо будет провести три серии исследования. Первая серия исследования была проведена с целью определить необходимую мощность, для обеспечения требуемого качества покрытия. После второй серии исследования, необходимо определить размер частиц карбида титана. Более подробное описание будет представлено для третьей серии исследования.

4.4.1 Первая серия исследования

В таблице 30 представлены переменные параметры лазерного осаждения для первой серии исследования. Мы решили работать с разными уровнями мощности лазера, скорости сканирования и потока порошка, чтобы оценить их влияние на свойства покрытия. Диаметр зеркала d_m позволяет регулировать плотность мощности ρ .

Таблица 30– Параметры лазерной наплавки для первой серии исследования.

№ образца	17	20	21	25
Диаметр зеркала d_m , mm	230			
Мощность лазера P, кВт	3	4	5	3.5

Продолжение таблицы 30

Скорость сканирования V , м/мин	0.3	0.4	0.5	0.35
Скорость подачи порошка F , об/мин	3000	4000	6000	3500

Вывод: на качество поверхности и физико-технологические свойства поверхности влияют варьируемые параметры, такие как мощность лазера, скорость сканирования и скорость подачи порошка.

4.4.2 Вторая серия исследования

Вторая серии исследования будет проведена с использованием отличной от первой схемы (табл. 31). Будет использоваться порошок карбида титана TiC с максимальным размером частиц $170 \mu m$ (вместо $250 \mu m$ в первой серии) для лучшего плавления карбидов.

Таблица 31 – Параметры лазерной наплавки для второй серии экспериментов.

№ образца	17	20	21	25
Диаметр зеркала d_m , mm		270		230
Мощность лазера P , кВт	5			
Скорость сканирования V , м/мин	0.3	0.4	0.5	0.3
Скорость подачи порошка F , об/мин	2000	2000	2000	2000

Вывод: Варьируя данные параметры, мы добьемся необходимых технологических свойств покрытия.

4.4.3 Третья серия экспериментов

В третьей серии исследования я предлагаю провести полный факторный анализ для получения значений корреляции между параметрами процесса и геометрией покрытия, для оптимизации максимальной эффективности использования энергии лазерного пучка [81].

Целью эксперимента является установление отношений $y = (x_1, x_2 \dots x_k)$ между независимыми параметрами (вход) x_i и зависимыми параметрами (выход) y (рисунок 51: упрощенное представление предмета исследования).



Рисунок 51 – Упрощенное представление предмета исследования

В данном исследовании, основные параметры лазерной наплавки, такие как мощность лазера P , скорость сканирования V и скорость подачи порошка F являются входными параметрами x [60].

Геометрических характеристик кордона, такие как высота H , ширина W и глубина плавления подложки h являются выходными параметрами y (рисунок 52).

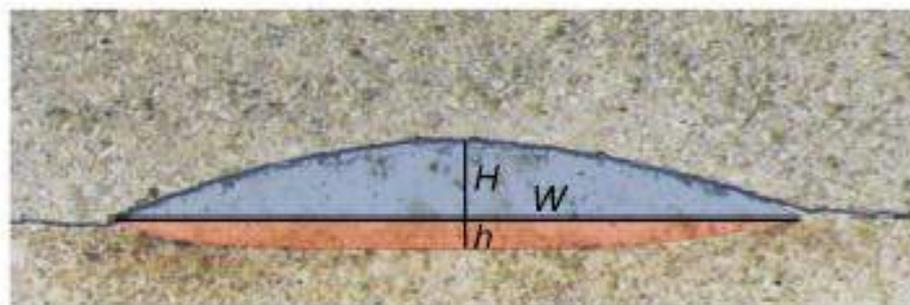


Рисунок 52 – Геометрические характеристики кордона

Описание объекта исследования можно представить как математическую модель. Эта модель выражается в ряд Тейлора[81]:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i,j}^N b_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{ijk}^N b_{ijk} x_i x_j x_k \dots$$

Различные вариации значения y_i являются случайными в связи с наличием неконтролируемых нарушений значения w_i (рис. 48). Таким образом, данное уравнение не может точно описать связь между входными и выходными параметрами[82].

Цель состоит в том, чтобы найти полином (конечное множество), который называется уравнение регрессии по результатам эксперимента. Область определения входных параметров x определяется на практике. Условия исследования представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Область определения входных параметров

n	Входной параметр x_i	Количество значений q		
		1	2	3
1	Мощность лазера P , кВт	5	5	5
2	Скорость сканирования V , м/мин	0.3	0.4	0.5
3	Скорость подачи порошка F , об/мин	2000	3000	4000

Для оценки уровня влияния входных параметров на выходные параметры, необходимо выполнить нормализацию. Размерные переменные (физические) x_i заменяется безразмерными переменными Δx_i по следующей формуле:

$$\Delta x_i = (x_i - x_{i0}) / (3/2 \cdot t_i)$$

где Δx_i - значение безразмерной переменной; x_i - начальное значение физической переменной; $X_{i0} = (x_{i \text{ макс}} + x_{i \text{ мин}}) / 2$ - среднее значение физической

переменной; t_i – нет; $X_{i \text{ мин}}$ и $X_{i \text{ макс}}$ – минимальное и максимальное значения физических переменных. После обработки нормированных входных переменных, Δx_i варьируется от -1 до +1 (таблица 33).

Если количество входных параметров n , необходимо проверить различные комбинации $N = q^n$, где q является числом варьируемых параметров.

Таблица 33 – Область определения нормированных входных параметров

n	Входной параметр x_i	Количество значений q		
		1	2	3
1	Мощность лазера P , кВт	-1	0	1
2	Скорость сканирования V , м/мин	-1	0	1
3	Скорость подачи порошка F , об/мин	-1	0	1

Таким образом, необходимо сделать $N = 2^2 = 4$ образцов методом лазерной наплавки. Геометрических характеристики кордона, такие как высота H , ширина W и глубина плавления подложки h должны будут измерены в начале, в середине и в конце каждого кордона и их средние значения необходимо вычислить.

В этом исследовании, математическое описание модели представлено в виде многочлена второй степени.

Для набора статистических данных $\{y_i, x_{i1}, \dots, x_{ip}\}_{i=1}^n$, регрессионная модель имеет следующий вид[63]:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip}, \quad i = 1 \dots n$$

n -ое количество уравнений объединяются и записываются в виде вектора:

$$\bar{Y} = \beta \bar{X}$$

Тогда, коэффициенты регрессии определяются следующим образом:

$$\bar{\beta} = (\bar{X}^T \bar{X})^{-1} \bar{X}^T \bar{Y}$$

После расчета, нужно построить регрессионную модель для каждого выходного параметра H , L и h . Для подтверждения гипотезы, нужно использовать

следующие модели: модель воспроизводимости эксперимента (тест Кохрана), модель проверки значений коэффициентов[83].

4.5 Характеристика инструментов

4.5.1 Анализ структуры и свойств композиционных материалов

Оптические исследования представленных образцов предлагают проводить с помощью оптического микроскопа ZEISS Axioscope A1 (рис. 52a) и на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega 3 SB (рисунок 52b). После всех операций подготовки, образцы обследовать с помощью оптического микроскопа (ОМ) при малом увеличении в белом и поляризованном свете. Затем каждый образец покрыть проводящей лентой либо фольгой (при необходимости покрывается тонким слоем золота) и исследовать в сканирующем электронном микроскопе (SEM)[65].

Преимущества SEM в его высоком увеличении (до 5000) с высокой разрешающей способностью, большой глубиной резкости, что делает возможным исследование шероховатых поверхностей, а также целесообразность проведения химических анализов отдельных участков (площадью в несколько мм²) или по точкам (объем порядка $\mu\text{м}^3$). Измерения твердости проводить на оборудовании BUEHLER Omnimet МНТ 5104 с приложенной нагрузкой (200 гр) в течение 5 секунд (рисунок 52с). Среднее значение твердости рассчитывается после нескольких попыток (5 минимум)[84].

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113



Рисунок 52 – (a) Оптический микроскоп ZEISS Axioscope A1, (b) сканирующий электронный микроскоп TESCAN Vega 3 SB (c) прибор для измерения твердости BUEHLER Omnimet MHT 5104

4.5.2 Гранулометрический и морфометрических анализ порошка

Распределение размеров частиц порошка проводить с использованием оптической установки ALPAGA. Эта система позволяет сделать анализ гранулометрического и морфометрического измерения частиц порошка (рисунок 53).



Рисунок 53 – Система ALPAGA для проведения гранулометрического и морфометрического анализа порошка

В общей сложности из трех параметров частиц порошка необходимо оценить: размер, округлость, шероховатость.

Исследование включает в себя три основных этапа:

- Диспергирование материала в вакууме на стекло;
- Прохождение стекла, содержащего частицы вещества, над телоцентрической линзой и анализ изображений, определение геометрических параметров частиц в программном обеспечении Callisto;
- Статистическая обработка данных с программного обеспечения Callistat.

Размер частиц d_p - это диаметр круга максимальной площадью вписанного в контур частицы (рис. 54 а). Предполагается, что эта сфера с диаметром проходит через сито, а также через саму частицу[84].

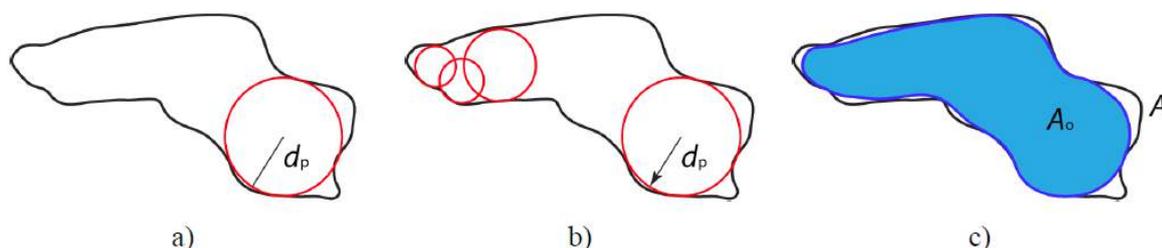


Рисунок 54 – Параметры частиц: (а) размер, (b) округлость и (с) шероховатость

Округлость рассчитывается следующим образом: $\sum d_i / (N \cdot d_p)$, где d_i - диаметр i -й кривизны по профилю частицы, которая меньше, чем диаметр самой большой вписанной окружности d_p ; N - общее количество кривых, которые образуют профиль; d_p – наибольший диаметр вписанного круга d_p .

Индекс округлости характеризует геометрию частицу от идеальной сферической (рис. 54 б). Шероховатость определяется количеством вписанных окружностей, до тех пор, пока исходная частица не станет совершенно гладкой (рис. 54 с)[84].

5 ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

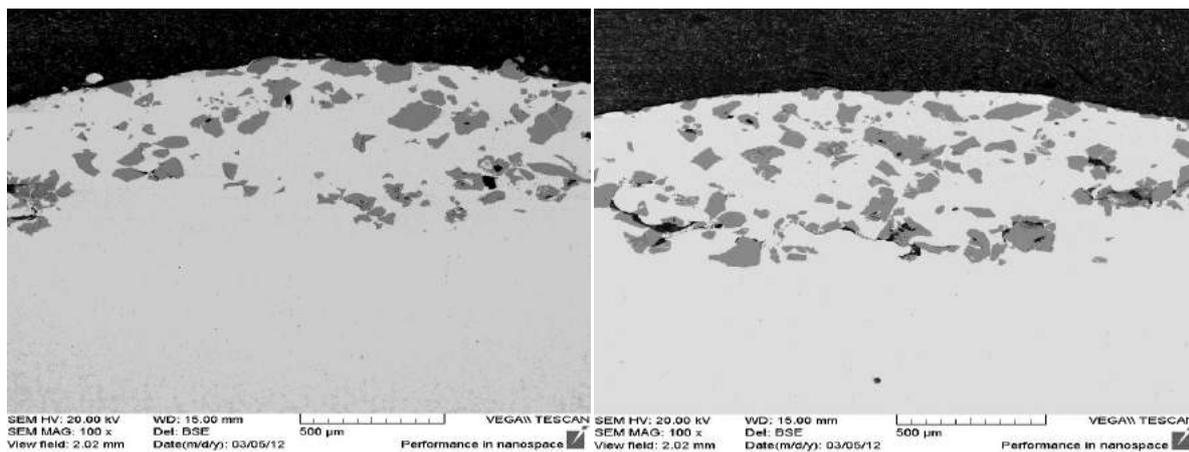
Полученные результаты обсуждаются подробно в третьей серии исследования, первые две серии были реализованы с целью определения оптимальной мощности лазерного излучения, а также определения размера частиц порошка TiC, чтобы попытаться вписаться в третью серию исследования.

5.1 Выводы из первой серии исследования

Композиционный материал был изготовлен из порошкообразной смеси ВЗК и TiC в пропорции 70/30% по объему (80/20% мас.), соответственно. Максимальный размер частиц карбида титана составляет 250 мкм.

По результатам первой серии исследования были сделаны следующие выводы:

- Все образцы показывают более или менее гетерогенные микроструктуры (рис 55, например):
 - агломерации карбида титана в матрице.
 - большое количество крупных частиц нерасплавленного TiC (до 250 мкм)
 - пористость.
 - Для получения расплавленных частиц карбида титана в матрице, необходимо использовать максимальную мощность, а также уменьшить размер лазерного пятна, тем самым увеличить плотность мощности
- В связи с этим необходимо уменьшить размер частиц TiC.



a)

b)

Рисунок 55 – Микроструктура полученных кордонов ВЗК + TiC:

(a) образец № 17 (b) образец № 21

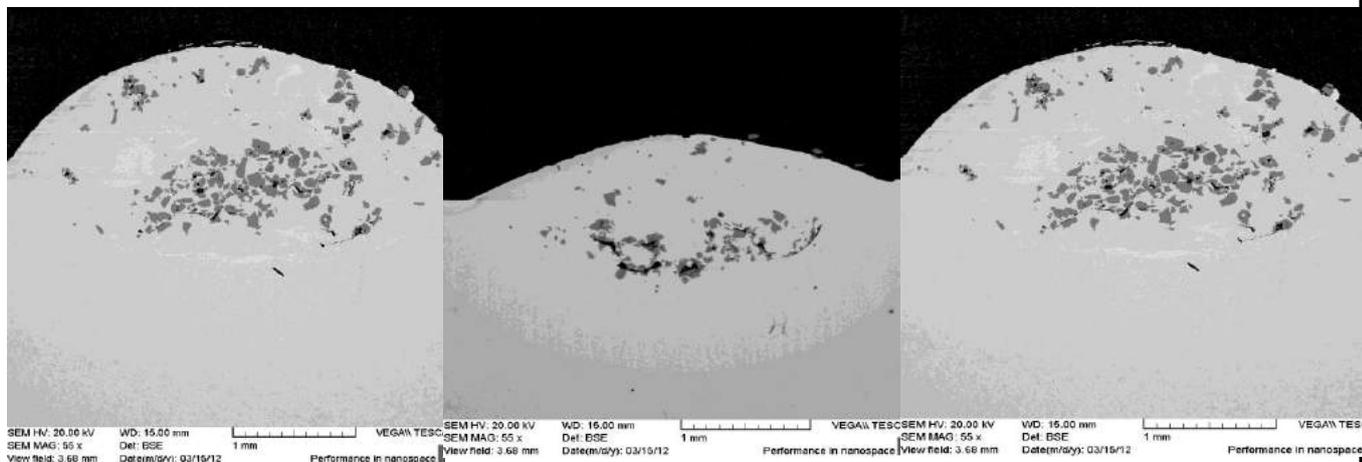
5.2 Выводы из второй серии исследования

Максимальный размер частиц TiC был сокращен после первой серии тестов, в данной серии исследования порошок был просеян до 160 мкм. Микроструктуры кордонов показаны на рисунке 56.

По итогам второй серии экспериментов были сделаны следующие выводы:

- Результаты показывают неоднородную структуру покрытия (большое количество крупных нерасплавленных частиц TiC). Следует отметить, что структура покрытия лучше, чем в первой серии экспериментов (рис. 26).
- химический структурный анализ показывает высокое содержание железа (26-65%) в матрице покрытия.
- метод нанесения покрытий характеризуется большой ванной расплава.
- измерения твердости покрытия также показали неоднородность структуры кордонов. Твердость некоторых покрытий была намного ниже, чем твердость закаленной стали в зоне термического влияния (твердость покрытий от 400 до 800HV, твердость подложки в зоне термического влияния до 500-550HV).

- необходимость уменьшения размера частиц карбида титана, так как они образуют крупные агломерации (вследствие чего происходит образование пор, формирование гетерогенной структуры и т.д.).



a)

b)

c)

Рисунок 56– Микроструктура полученных кордонов ВЗК + TiC:

a) образец № 17 б) образец № 20 с) образец № 25

5.3 Выводы из третьей серии исследования

Перед испытаниями, необходимо провести расчет теплового процесса лазерной наплавки для третьей серии исследования.

5.3.1 Уравнения регрессии и геометрия кордонов

Реализация эксперимента была использована для определения коэффициентов регрессии геометрических характеристик кордонов в зависимости от выбранных входных параметров процесса (таблица 34).

Таблица 34 - Коэффициенты уравнения регрессии геометрических характеристик кордонов. Композиционный материал: ВЗК+TiC

x	β_0	V	F	V*F	V ²	F ²
		β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
H, мм	0.65	-0.19	0.20	-0.08	0.05	0.05
L, мм	3.55	-0.16	0.18	-	-	0.03
h, мм	0.86	-0.05	-0.14	-	-	-0.06

Отношения между параметрами лазерной проекции и геометрическими характеристиками показаны на рисунке 57. Измеренные значения отмечены точками. Уравнения регрессии имеют сильную корреляцию с экспериментальными данными.

Коэффициент регрессии показывает степень влияния входных параметров. В этом эксперименте мы не принимаем во внимание эффект мощности лазерного излучения P на геометрию кордонов, так как мощность постоянна.

С увеличением скорости подачи порошка F при постоянной скорости сканирования V :

- высота H и ширина L кордона увеличивается,
- разведение h уменьшается.

С увеличением скорости сканирования V при постоянной скорости подачи порошка F :

- высота H и ширина L кордона уменьшаются,
- разведение h , также уменьшается.

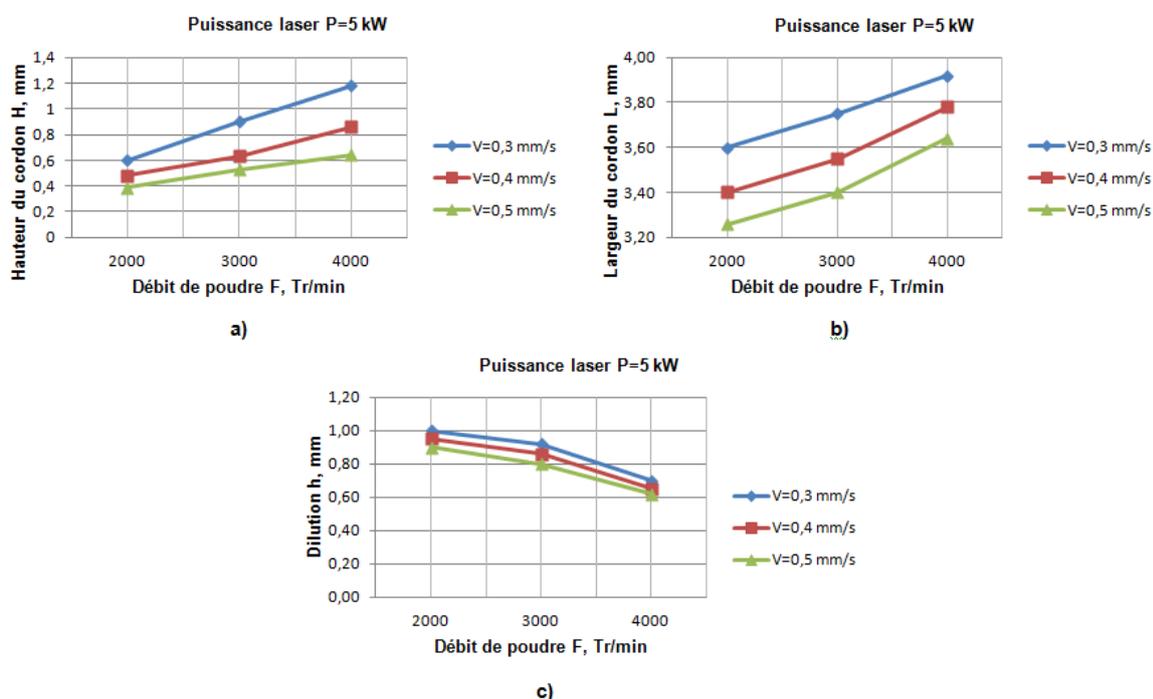


Рисунок 57. Геометрические характеристики: (а) высота H , (б) ширина L (С) разбавление h в зависимости от скорости подачи порошка F и скорости сканирования V . Композиционный материал: ВЗК+TiC

5.3.2 Микроструктура

На рисунке 58 показана структура кордонов, полученных методом лазерной наплавки.

Образцы имеют единый профиль, без трещин. Каждый образец может быть разделен на три зоны: композиционный сплав ВЗК+ TiC (CZ), зоны разведения (DZ), зону термического влияния (ZAT). Скорость охлаждения влияет на однородность химического состава сплава при кристаллизации. В связи с высокой скоростью охлаждения характерной для лазерной наплавки (см. раздел «Расчет теплового процесса лазерной наплавки»), перераспределение элементов армирующей фазы в расплаве не успевает произойти, происходит сегрегация примесей, в результате чего образуются структуры различных типов TiC.

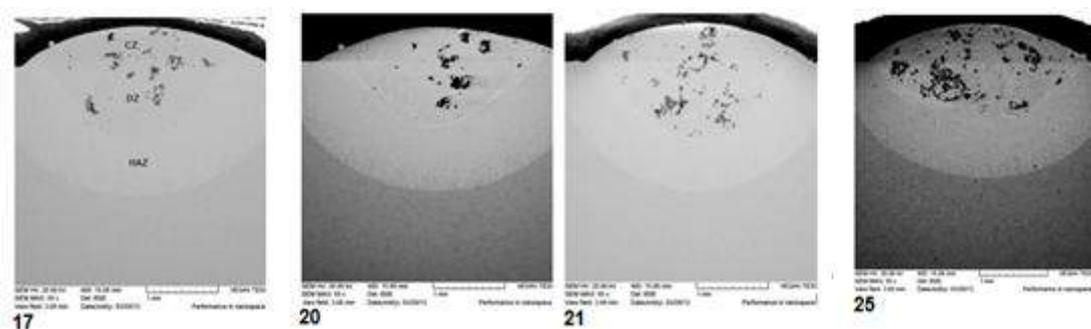


Рисунок 58 – Поперечные сечения образцов ВЗК + TiC, полученных на электронном сканирующем микроскопе

Все образцы обладают высоким разбавлением субстрата. Разбавление покрытия рассчитывается как отношение максимальной расплавленной глубины подложки на сумму максимальной расплавленной глубины подложки и максимальной высоты осажденного покрытия. Расчетные значения разбавления покрытия находятся в диапазоне 37-73%, что связано с накоплением тепла в подложке во время действия лазерного излучения.

Результаты анализа химического состава покрытия, проведенного на электронном сканирующем микроскопе, из порошковой смеси ВЗК + TiC (70/30% об.), представлены в таблице 35. Все результаты разделены на 3 группы, в зависимости от параметров лазера:

-  P=5 кВт, V=0.3 м/с, F₁₇=2000 об/мин;
-  P=5 кВт, V=0.4 м/с, F₂₀=2000 об/мин, F₂₁=3000 об/мин;
-  P=5 кВт, V=0.5 м/с, F₂₅=4000 об/мин.

Таблица 35 – Химический состав образцов

№ образца	Ti, %	Co, %	Cr, %	Fe, %	W, %	Mo, %	Ni, %	Mn, %	Si, %
17	6.39	21.46	10.85	52.42	3.29	0.40	0.90	0.94	0.35
20	5.63	16.29	8.13	62.42	2.98	0.35	0.78	0.89	0.30
21	7.10	18.67	9.64	54.44	2.92	0.37	0.84	0.80	0.24
25	10.71	21.58	11.29	45.13	4.08	0.58	0.88	0.61	0.09

Полученные данные указывают на высокий процент железа (31.27-70.28%) в матрице покрытия. Эти результаты находятся в согласии с данными расчета разбавления покрытия. Следует отметить, что процентное содержание железа в покрытии уменьшается с увеличением скорости подачи порошка F при постоянных мощности лазерного излучения P и скорости сканирования V, в то время как доля других элементов (Ti, Co, Cr, W и др.) увеличивается с увеличением скорости подачи порошка.

Рисунок 58 и рисунок 59 показывают поперечные сечения образцов в сканирующем электронном микроскопе. Существует отличная металлургическая связь между покрытием и подложкой. Наблюдается четкая граница между подложкой и покрытием (рис. 60), это обусловлено ростом зерна в нижней части расплавленного материала. С увеличением расстояния от основания покрытия, скоростью затвердевания расплава увеличивается, вследствие чего градиент температуры резко сокращается, что, в свою очередь, приводит к изменению микроструктуры.

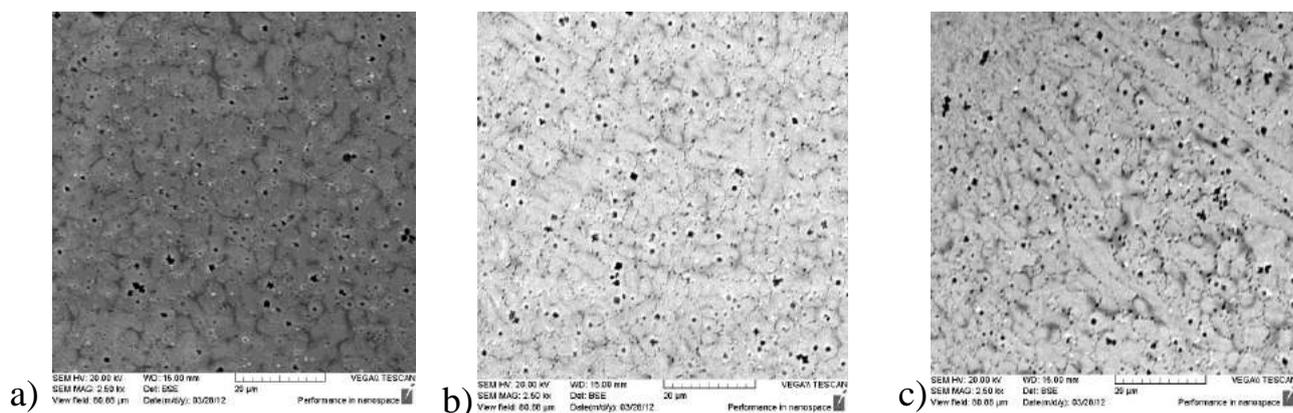


Рисунок 58 – Поперечные сечения полученных кордонов ВЗК + TiC:

а) образец № 17, б) образец № 20, с) образец № 25

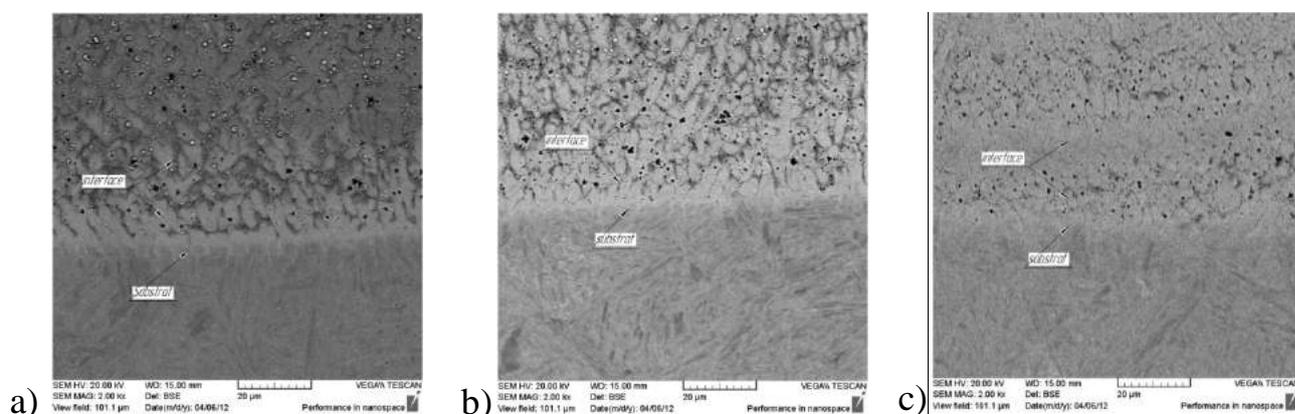


Рисунок 59 – Интерфейс между подложкой и покрытием кордонов ВЗК + TiC: а)

образец № 17, б) образец № 20, с) образец № 25

Структуру формирования частиц TiC, можно разделить на два вида (рис. 61):

- частично-расплавленные крупные частицы TiC,
- карбид титана (TiC).

В связи с изменением предела растворимости TiC в металлической матрице, осажденные карбиды титана TiC должны быть соблюдены в оригинале эвтектической фазы.

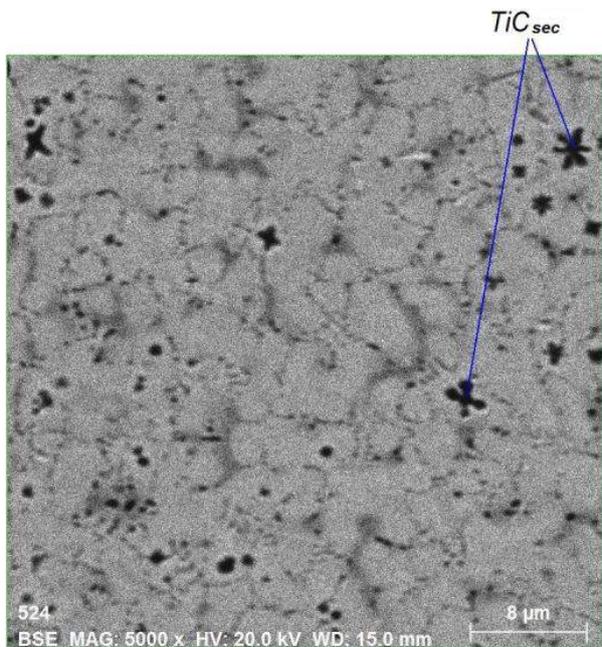


Рисунок 60– Типичная микроструктура образцов

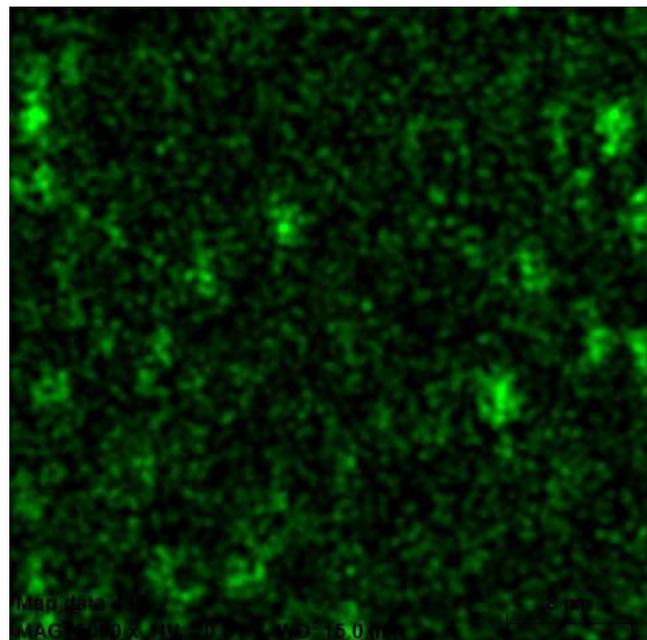
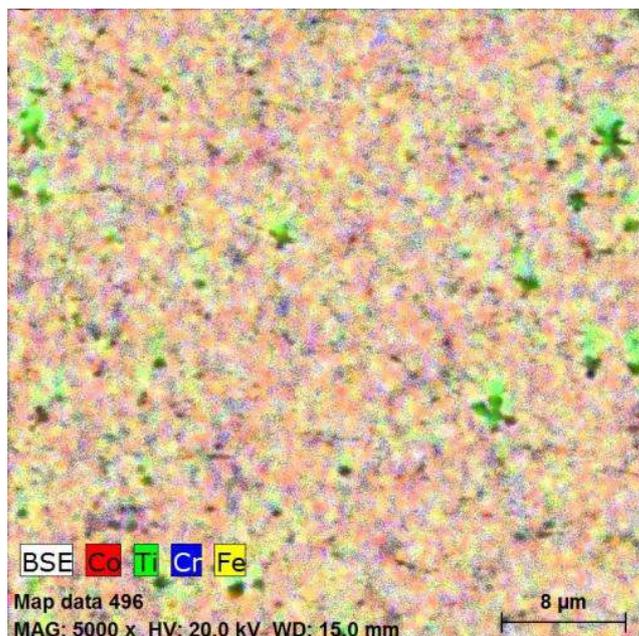
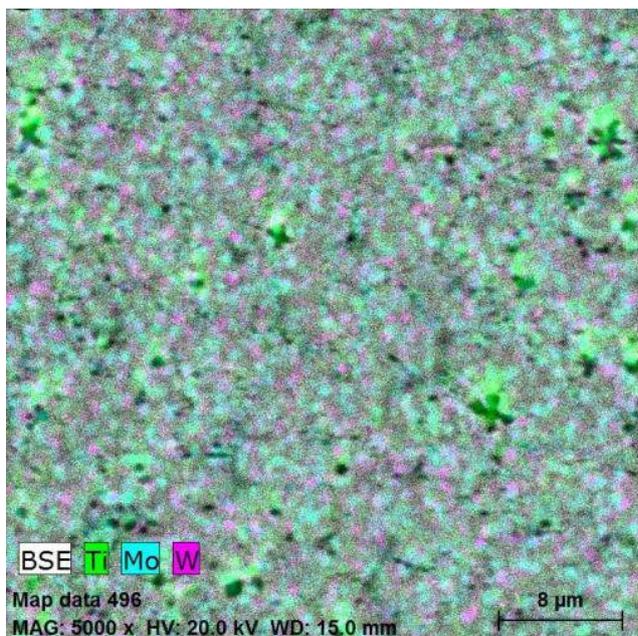


Рисунок 61 – Распределение Ti в структуре образцов

Концентрация титана увеличилась в области первичного карбида титана TiC (нерасплавленных частиц) и в зоне эвтектических колоний.

Рисунок 62а показывает большое скопление вольфрама и молибдена вокруг карбида титана. Предположительно это образование сложных карбидов. Распределение других элементов в сплаве регулярно, за исключением хрома. На рисунке показано скопление хрома по периферии образования карбидов (рис. 62b).



a)

b)

Рисунок 62 – Распределение элементов в структуре образцов:

а) Ti, Mo и W, б) Co, Ti, Cr, Fe

5.3.3 Твердость

Твердость была измерена вдоль линии от поверхности покрытия к основанию. Результаты показывают различные данные по твердости (рис. 63). Следует отметить, что твердость зависит от структуры покрытия, чем более равномерное покрытие, тем меньше расхождение значений твердости.

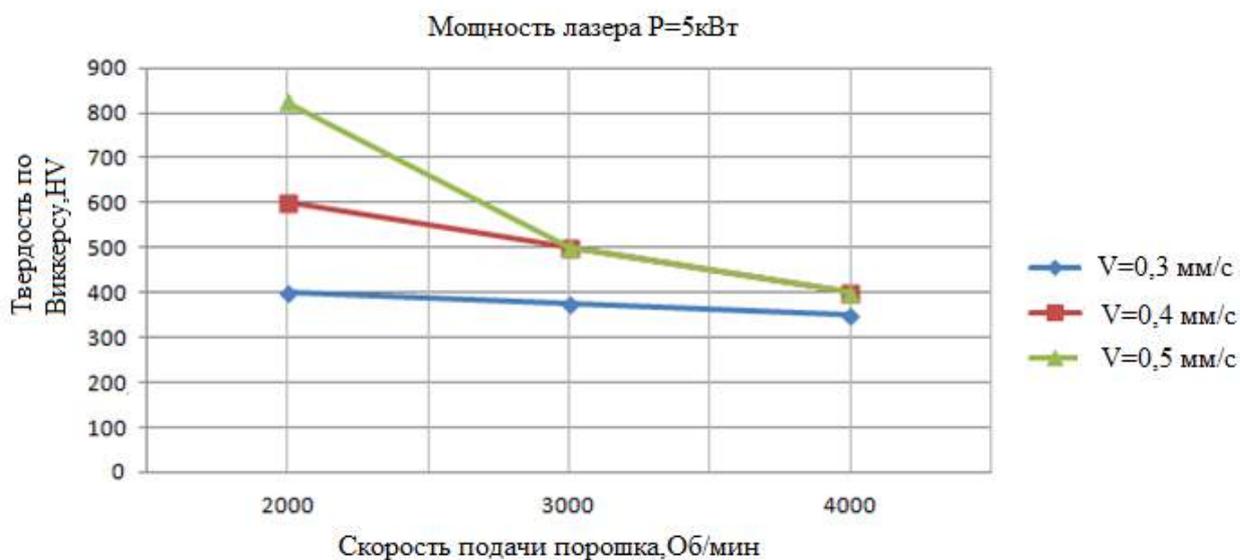


Рисунок 63 – Зависимость твердости от параметров лазерной наплавки

5.4 Перспективы развития использования технологии наплавки

Мощность лазера, скорости сканирования и подачи порошка играют жизненно важную роль в формировании покрытия и качества его структуры. В конкретный период времени, мощность лазерного излучения должна обеспечить достаточное количество тепла, чтобы расплавить небольшой объем подложки и входящий поток порошка. Это явление зависит не только от мощности лазерного излучения, но и от скорости сканирования и скорости подачи порошка, и конечно, от типа материалов и их свойств.

Перспективы:

- Изменение пропорций в порошковой смеси должно составлять соотношение 80/20 между ВЗК и TiC, соответственно.
- В зависимости от скорости сканирования диффузионный процесс и проникновение частиц наплавленного материала будет минимальным.
- Добавить молибден для улучшения смачиваемости карбида титана. Введение молибдена в сплавы TiC-Co обеспечивает более тонкую структуру [85]. Молибден в процессе лазерной наплавки заменяет часть атомов титана с образованием твердой фазы TiC-Mo₂C. Таким образом, формируется кольцевая структура: сердцевиной является карбид титана, а внешняя зона состоит из твердого раствора TiC-Mo₂C.
- Уменьшение внедрения частиц покрытия а материал подложки, так как уменьшение внедрения в покрытия оказывают положительное влияние на механические свойства сплава. Чтобы сделать это, мы должны либо уменьшить плотность энергии, либо использовать промежуточный слой между покрытием и подложкой.
- Поиск компромиссного решения в параметрах лазерной наплавки, чтобы получить покрытие карбидов титана равномерно распространенных в матрице покрытия.

6 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

6.1 Производственная программа

Годовая программа задаётся в натуральном выражении с учётом выпуска деталей основного производства, брака и запасных частей. Программа запуска определяется по формуле[86]:

$$Q_3 = (1 + \beta) \cdot Q_в$$

где $Q_в$ – программа выпуска, шт/год;

β – коэффициент, учитывающий возможный брак, принимается в пределах 0,1...2,5%.

$$Q_3 = (1 + 0,005) \cdot 1000000 = 1005000 \frac{\text{шт}}{\text{год}};$$

6.2 Расчет оборудования

Расчетное количество оборудования определяется по формуле:

$$N_p = (1 + K_n) \cdot \frac{C}{\Phi_{30}}$$

где: K_n – коэффициент, учитывающий время на замену инструмента и переналадку оборудования;

Φ_{30} – эффективный годовой фонд времени работы оборудования;

C – станкоемкость, представляющая затраты времени работы оборудования на изготовление годовой программы.

$$C = \frac{Q_3}{q}$$

где: q – расчетная производительность оборудования с учетом условий технологии изготовления.

Количество фактически устанавливаемого оборудования N_f находится округлением расчётного количества до ближайшего целого.

Коэффициент загрузки оборудования определяется по формуле:

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		126

$$K_3 = \frac{N_p}{N_\phi} \cdot 100\%$$

1) Расчет смесителя:

$$q = 217698;$$

$$C = \frac{1005000}{217698} = 4,62;$$

$$K_{\pi} = 0,15;$$

$$\Phi_{30} = 3550;$$

$$N_p = (1 + 0,15) \cdot \frac{4,62}{3550} = 0,0016;$$

$$N_\phi = 1;$$

$$K_3 = \frac{0,0016}{1} \cdot 100\% = 16\%.$$

2) расчет пресса – автомата:

$$q = n \cdot t$$

где n – число ходов ползуна пресса, n = 8 мин⁻¹;

t - время, t = 60 мин.

$$q = 8 \cdot 60 = 480 \text{ шт/ч}$$

$$C = \frac{1005000}{480} = 2093,75;$$

$$K_{\pi} = 0,1;$$

$$\Phi_{30} = 3809;$$

$$N_p = (1 + 0,1) \cdot \frac{2093,75}{3809} = 0,604;$$

$$N_\phi = 1;$$

$$K_3 = \frac{0,604}{1} \cdot 100\% = 60,4\%.$$

3) расчет печи спекания

$$q = 1200 \text{ шт/ч};$$

$$C = \frac{1005000}{1200} = 837,5;$$

$$K_{\pi} = 0,1;$$

$$\Phi_{30} = 3975;$$

$$N_p = (1 + 0,1) \cdot \frac{837,5}{3975} = 0,232;$$

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		127

$$N_{\phi} = 1;$$

$$K_3 = \frac{0,232}{1} \cdot 100\% = 23,2\%.$$

.4) расчет калибровочного пресса

$$q = n \cdot t$$

где n – число ходов ползуна пресса, $n = 30 \text{ мин}^{-1}$;

t - время, $t = 60 \text{ мин.}$

$$q = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ шт/ч}$$

$$C = \frac{1005000}{1800} = 558,3;$$

$$K_{\Pi} = 0,1;$$

$$\Phi_{30} = 3809;$$

$$N_p = (1 + 0,1) \cdot \frac{558,3}{3809} = 0,161;$$

$$N_{\phi} = 1;$$

$$K_3 = \frac{0,161}{1} \cdot 100\% = 16,1\%.$$

6.3 Определение работающего состава участка и его численности

Все рабочие участка делятся на рабочих и служащих. Рабочие, в свою очередь, делятся на основных и вспомогательных, а служащие – на инженерно-технических работников (ИТР), счётно-контормский персонал (СКП) и младший обслуживающий персонал (МОП). Численность производственных рабочих цеха определяется как численности производственных рабочих соответствующих специальностей, которая определяется по формуле[86]:

$$R = T \cdot \frac{n}{\Phi_{3p}}$$

где – T трудоемкость годовой программы при выполнении конкретной технологической операции;

n – норма обслуживания единицы оборудования;

Φ_{3p} – эффективный годовой фонд времени рабочего данной специальности.

$$T = \frac{Q_3}{q} \tag{50}$$

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		128

1) Смеситель: $R = \frac{1005000 \cdot 0,33}{217698 \cdot 3550} = 0,0004$, задействуется 1 человек;

2) пресс автомат: $R = \frac{1005000 \cdot 0,5}{480 \cdot 3809} = 0,275$, задействуется 1 человек;

3) печь $R = \frac{1005000 \cdot 0,5}{1200 \cdot 3975} = 0,1$, задействуется 1 человек;

4) калибровочный пресс автомат: $R = \frac{1005000 \cdot 0,3}{1800 \cdot 3809} = 0,04$, задействуется 1 человек.

Итого: 4 человека

6.4 Расчет численности вспомогательных рабочих

При укрупненном методе проектирования численность вспомогательных рабочих определяется в процентах от числа производственных рабочих. Этот процент составляет 40%.

$R = 4 \cdot 0,4 = 2$. Принимаем 2 человека: слесарь и электрик

6.5 Расчет численности служащих

К ИТР относятся администрация цеха и работники технологического, конструкторского, планово-диспетчерского, инструментального отделов и бюро. СКП состоит из работников отдела труда и зарплаты и бухгалтерии, а МОП – гардеробщиков, уборщиков, секретарей и т.д.

Численность ИТР, СКП, МОП и ОТК определяется по штатному расписанию или в процентном отношении от общего числа рабочих. Для ИТР этот процент составляет 10%, СКП – 6%, МОП – 2%, ОТК – 3%.

- Число служащих участка составляет:
- ИТР $R = 0,1 \cdot 6 = 0,6$ принимаем 1;
- СКП $R = 0,06 \cdot 6 = 0,36$ принимаем 1;
- МОП $R = 0,02 \cdot 6 = 0,12$ принимаем 1;
- ОТК $R = 0,03 \cdot 6 = 0,18$ принимаем 1.

Таким образом, на участке работает:

- 1 мастер;
- 1 нормировщик;

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		129

- 1 уборщик;
- 1 рабочий контролер.

6.6 Расчет расхода основных, вспомогательных материалов и энергоносителей

Расчет расхода порошка:

$$M_n = Q_3 \cdot K_{ПМ} \cdot m \quad (51)$$

где: $K_{ПМ}$ – коэффициент, учитывающий потери материала в зависимости от типа изделия и технологии;

m – доля порошка определенного вида в шихте;

$K_{ПМ}$ определяется по формуле:

$$K_{ПМ} = 1 + \sum R_{ni} + \sum R_{oi} \quad (52)$$

где: R_{ni} – коэффициент, учитывающий потери порошка на i -той операции;

R_{oi} – коэффициент, учитывающий отходы порошка на i -той операции, которые возвращаются на базы вторсырья.

Расходы порошка:

$$M_n = 1005000 \cdot 1,116 \cdot 1 = 1165800$$

Кроме основных материалов при производстве порошковых изделий используются вспомогательные материалы и различные энергоносители. Расход вспомогательных материалов представлен в таблице 36, а расчет энергоносителей в таблице 37[86].

Таблица 36 – Расход вспомогательных материалов

№	Материалы	Единица измерения	Норма расхода на 1т изделия	Расход материала
1	Пластификатор	кг	20	1005
2	Защитный газ	м ²	70	3517,5
3	Машинное масло	кг	50	2512,5

4	Смазочные материалы	кг	10	502,5
---	---------------------	----	----	-------

Продолжение таблицы 36

5	Обтирочные материалы	кг	1	50,25
6	Сетка	м ²	0,2	10,05
7	Огнеупоры	кг	9	452,25
8	Инструмент	кг	40	2010

Таблица 37 – Расчет энергоносителей

Вид энергоносителя	Норма на 1т изделия	Расход материала
Электроэнергия:		
прессовое оборудование, кВт.ч	1500	75375
подъемно-транспортное оборудование, кВт.ч	100	5025
печь, кВт.ч	2800	140700
Сжатый воздух, м ³	500	25125
Природный газ, м ³	170	8542,5
Азот, м ³	5	251,25
Вода оборотная, м ³	210	10552,5

6.7 Площади, компоновка и планировка участка

Расчёт площади происходит по формуле:

$$F_{\Pi} = \sum f_i * N_i \quad (53)$$

Где f_i – удельная площадь, занимаемая единицей определённого типоразмера производственного оборудования;

N_i – количество оборудования определённого типоразмера.

$$F_{\Pi} = 40*1+70*1+230*1+40*1=380 \text{ м}^2$$

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		131

6.8 Выбор здания цеха и его параметров

Здание цеха одноэтажное, прямоугольное в плане, имеет железобетонную конструкцию, подкрановые пути для подвесных кранов.

Размеры участка 35*15. Шаг колонны 6 м (Приложение В).

При расчете себестоимости готового изделия, затраты на изготовление оснастки составляют от 7 до 10% от всей суммы, что значительно увеличивает его стоимость. Поэтому увеличение срока службы пресс-формы является решением важной задачи.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		132

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе спроектирована технология для получения детали осб натяжного ролика из порошка, в соответствии с были спроектированы рабочие детали пресс-форм и сама пресс-форма. Проведен анализ и исследование композиционных материалов ВЗК с добавлением армирующей фазы TiC. Сделан литературный обзор, на основе которого была рассмотрена литература об основных механизмах разрушения инструментов при порошковой обработке. Было выбрано большое количество материалов, произведенных по технологии прямого осаждения металла, и изучены их свойства.

Анализ режимов разрушения пресс-форм показал, что основными типами разрушения являются (в порядке важности): абразивный износ, пластические деформации, механическая и термическая усталости. Повышение температуры подложки более чем на 500 °C приводит к потере жесткости и смягчению, которые способствуют быстрому износу рабочего инструмента.

Применение износостойких сплавов на основе кобальта, никеля и интерметаллических соединений для повышения стойкости инструмента для пресс-форм является наиболее эффективным, исходя из предварительного анализа в данной работе.

Был выбран композиционный материал ВЗК с армирующей фазой TiC (композиционный материал) в соотношении 70/30% по об., соответственно. Кобальтовые сплавы известны как высоко-износостойкие покрытия. TiC имеет отличные физико-механические и термические свойства по сравнению с другими армирующими фазами.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		133

В ходе работы над проектом был предложен эксперимент и проведен полный факторный анализ. Также предложены варьируемые параметры для определения технологических характеристик.

Исследование покрытий, произведенных на основе композиционного материала (ВЗК + TiC 70/30% по объему) позволяет сделать следующие выводы:

- Композиционный материал был правильно осажден на подложку технологией прямого осаждения металла. Существует очень хорошие отношения между покрытием и металлической подложкой.
- Химический структурный анализ и расчет разбавления показывают, высокое содержание железа (26-70%) в матрице покрытия.
- В зависимости от скорости сканирования порошка, скорости подачи порошка и мощности лазера лазерные покрытия имеют различную твердость.
- Совокупность рабочих параметров, код гранулометрического состава порошка определяют качественные характеристики покрытия.

В рамках организационно-экономической части был спроектирован участок порошкового цеха.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		134

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Порошковая металлургия и напыленные покрытия В.Н. Анцифиров, Г.В. Бобров, ЛК. Дружинин, и др – М.: Металлургия, 1987 - 792 с.
- 2 Технология порошковой металлургии. А Н. Степанчук, ИИ Билык, П.А. Бойко - К.: Выща шк. Главное издательство. 1989 - 415 с. илл.
- 3 Справочник по порошковой металлургии. Порошки, материалы, процессы. О.В. Роман, Ч.П. Габриелов – К.:Беларусь, 1988.
- 4 Порошковая металлургия. Кипарисов ГГ, Либенсон ГА. М., Металлургия, 1980, 496с.
- 5 Прессы автоматы для обработки порошковых материалов. В.И Трусковский, Л. А. Барков, В.К Плотников. - Челябинск Металл, 1994 -304с.
- 6 Каталог продукции ЗАО 'Лабораторное оборудование и приборы". Санкт-Петербург, май 2001.
- 7 Технологические расчеты процессов холодного формования металлических порошков. Методические рекомендации в помощь специалистам. Мыррин С.А. - Челябинск.:ЧПИ, 1989-28 с.
- 8 Марочник сталей и сплавов. М.М. Колосков, Е.Т. Долбенко, Ю.В. Каширский и др.; Под общей ред. А.С. Зубченко- М.:Машиностроение ,2001. 672 с. илл.
- 9 Walid FEKIH AHMED, Modélisation du comportement du rechargement Stellite-6 déposé par PTA dans les outillages de forge, Thèse de doctorat, l'Université de Reims Champagne-Ardenne, 2010
- 10 Luminita Iordache, Analyse tribo-métallurgique des rechargements base cobalt par fusion soudage d'outillages à chaud, Thèse de doctorat, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2006
- 11 John C. Ion, "Laser processing of engineering materials: principles, procedure and industrial application", ELSEVIER, pp. 300-301, 2005.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		135

- 12 Sailesh Babu, M.S., A material based approach to creating wear resistant surfaces for hot forging, Thèse de doctorat, The Ohio State university, 2004
- 13 K. SAWAN, Optimisation d'un outillage acier recharge en superalliage pour forge à chaud, Thèse de doctorat, INSA de Toulouse, 1994.
- 14 R. LEVEQUE, Données numériques sur les aciers à outils, Techniques de l'Ingénieur, Traité Matériaux Métalliques, M 332, 1989.
- 15 John F. Ready. Industrial Applications of Lasers. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997, 599 p.
- 16 Steen W.M. *Laser material processing*. London: Springer, 2003, 558 p.
- 17 Ion J.C. Laser processing of engineering materials: Principles, procedure and industrial application. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, 2005, 576 p.
- 18 Toyserkani E., Khajepour A., Corbin S. *Laser cladding*. Boca Raton: CRS Press, 2005, 280 p.
- 19 Frolov V.A., Peshkov V.V., Kolomensky A.B., Kazakov V.A. *Welding: Introduction*. 3rd ed / ed. by V.A. Frolov. M.: Internet Engineering, 2008, 382 p. (in Russian)
- 20 Grigoriants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. *Technological processes of laser processing* / ed. by A.G. Grigoriants. M.: Ed. BMSTU, 2006, 664 p. (in Russian)
- 21 Thivillon L., Bertrand Ph., Laget B., Smurov I. Potential of direct metal deposition technology for manufacturing thick functionally graded coatings and parts for reactors components. *Journal of Nuclear Materials*, 2009, vol. 385, n°2, p. 236–241
- 22 Hidouci A., Pelletier J.M., Ducoin F., Dezert D., El Guerjouma R. Microstructural and mechanical characteristics of laser coatings. *Surface and Coatings Technology*, 2000, vol. 123, n°1, p. 17–23
- 23 Kadolkar P.B., Watkins T.R., De Hosson J.Th.M., Kooi B.J., Dahotre N.B. State of residual stress in laser–deposited ceramic composite coatings on aluminum alloys. *Acta Materialia*, 2007, vol. 55, p. 1203–1214

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		136

- 24 Paul C.P., Alemohammad H., Toyserkani E., Khajepour A., Corbin S. Cladding of WC–12 Co on low carbon steel using a pulsed Nd:YAG laser. *Materials Science and Engineering*, 2007, vol. 464, n°1–2, p. 170–176
- 25 Huang S.W., Samandi M, Brandt M. Abrasive wear performance and microstructure of laser clad WC/Ni layers. *Wear*, 2004, vol. 256, n°11–12, p. 1095–1105
- 26 Klocke F., Brecher C., Heinen D., Rosen C.–J., Breitbach T. Flexible scanner–based laser surface treatment. *Physics Procedia*, 2010, vol. 5A, p. 467–475
- 27 Van Acker K., Vanhoyweghen D., Persoons R. Influence of tungsten carbide particle size and distribution on the wear resistance of laser clad WC–Ni coatings. *Wear*, 2005, vol. 258, p. 194–202
- 28 Rechargement par soudage des outillages de forge à chaud – Guide pour la rédaction d’un programme de rechargement par soudage à l’arc des outillages de forge à chaud, CETIM, 1995.
- 29 Höganäs, Thermal Surfacing. Powder choice with ease
- 30 R. Jendrzewski, A. Conde, J. de Damborenea, G. Sliwinski, Characterisation of the laser-clad stellite layers for protective coatings, *Materials and Design* 23 (2002). 83-88
- 31 Ana Sofia C.M. D’Oliveira, Paulo Serrgio C.P. da Silva, Rui M.C. Vilar, Microstructural features of consecutive layers of Stellite 6 deposited by laser cladding, *Surface and Coatings Technology* 153 (2002) 203–209
- 32 D. I. Adebisi, T. Fedotova¹, S. L. Pityana, A. P. I. Popoola, Improved hardness of laser alloyed X12CrNiMo martensitic stainless steel, *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(14), pp. 3336-3346, 18 July, 2011
- 33 Minlin Zhong, Wenjin Liu, Kefu Yao, Jean-Claude Goussain, Cercile Mayer, AhimBecker, Microstructural evolution in high power laser cladding of Stellite 6+WC layers, *Surface and Coatings Technology* 157 (2002) 128–137
- 34 P. Ganesh, A. Moitra, Pragya Tiwari, S. Sathyanarayanan, Harish Kumar, S.K. Rai, Rakesh Kaul, C.P. Paul, R.C. Prasad, L.M. Kukreja, Fracture behavior of

- laser-clad joint of Stellite 21 on AISI 316L stainless steel, *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 3748–3756
- 35 H. Kashani, A. Amadeh, A. Ohadizadeh, Effect of temperature on the strain induced $\gamma \rightarrow \epsilon$ phase transformation in Stellite 21 during wear test, *Materials Science and Engineering A* 435–436 (2006) 474–477
- 36 D.H.E. Persson, S. Jacobson, S. Hogmark, Effect of temperature on friction and galling of laser processed Norem 02 and Stellite 21, *Wear* 255 (2003) 498–503
- 37 Masoud Alimardani, Vahid Fallah, Amir Khajepour, Ehsan Toyserkani, The effect of localized dynamic surface preheating in laser cladding of Stellite 1, *Surface & Coatings Technology* 204 (2010) 3911–3919
- 38 Y. Ning, P.C. Patnaik, R. Liu, M.X. Yao, X.J. Wu, Effects of fabrication process and coating of reinforcements on the microstructure and wear performance of Stellite alloy composites, *Materials Science and Engineering A* 391 (2005) 313–324
- 39 Iulian Radu, D.Y. Li, The wear performance of yttrium-modified Stellite 712 at elevated temperatures, *Tribology International* 40 (2007) 254–265
- 40 J. Przybylowicz, J. Kusinski, Laser cladding and erosive wear of Co–Mo–Cr–Si coatings, *Surface and Coatings Technology* 125 (2000) 13–18
- 41 C. Navas, M. Cadenas, J.M. Cuetos, J. de Damborenea, Microstructure and sliding wear behaviour of Tribaloy T-800 coatings deposited by laser cladding, *Wear* 260 (2006) 838–846
- 42 M.J. Tobar, J.M. Amado, C. Álvarez, A. García, A. Varela, A. Yáñez, Characteristics of Tribaloy T-800 and T-900 coatings on steel substrates by laser cladding, *Surface & Coatings Technology* 202 (2008) 2297–2301
- 43 I. Taberero, A.Lamikiz, S.Martínez, E.Ukar, J.Figueras, Evaluation of the mechanical properties of Inconel 718 components built by laser cladding, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 51 (2011) 465–470

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		138

- 44 E. Fern'andez, M. Cadenas, R. Gonz'alez, C. Navas, R. Fern'andez, J. de Damborenea, Wear behaviour of laser clad NiCrBSi coating, *Wear* 259 (2005) 870–875
- 45 C. Navas, R. Colaço, J. de Damborenea, R. Vilar, Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings, *Surface & Coatings Technology* 200 (2006) 6854–6862
- 46 T. Gomez-del Rizo, M.A. Garrido, J.E. Fernandez, M. Cadenas, J. Rodriguez, Influence of the deposition techniques on the mechanical properties and microstructure of NiCrBSi coatings, *journal of materials processing technology* 204 (2008) 304–312
- 47 S.-H. Wang, J.-Y. Chen, L. Xue, A study of the abrasive wear behaviour of laser-clad tool steel coatings, *Surface & Coatings Technology* 200 (2006) 3446–3458
- 48 Zhixing Guo, Ji Xiong, Mei Yang, Xiangyu Song, Cijin Jiang, Effect of Mo₂C on the microstructure and properties of WC–TiC–Ni cemented carbide, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 26 (2008) 601–605
- 49 Jong-Choul Shin, Jung-Man Doh, Jin-Kook Yoon, Dok-Yol Lee, Jae-Soo Kim, Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of cobalt-base Stellite hardfacing alloys, *Surface and Coatings Technology* 166 (2003) 117–126
- 50 Marion Le Flem, Alexandre Allemand, Stéphane Urvoy, Denis Cédat, Colette Rey, Microstructure and thermal conductivity of Mo–TiC cermets processed by hot isostatic pressing, *Journal of Nuclear Materials* 380 (2008) 85–92
- 51 A.H. Wang, C.S. Xie, J.H. Nie, *Mater. Sci. Technol.* 15 (1999) 957.
- 52 S. Zhang, C.H. Zhang, W.T. Wu, M.C. Wang, *Acta Met. Sin.* 37 (2001) 315.
- 53 X.W. Wu, X.Y. Zeng, B.D. Zhu, Z.Y. Tang, K. Cui, *Chin. J. Lasers* 24 (1997) 570.
- 54 A. Agarwal, N.B. Dahotre, *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 17 (1999) 283.
- 55 *Handbook of composite materials* / ed. by J. Lyubin. M.: Mashinostroenie, 1988, vol. 1, 448 p. (in Russian)

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		139

- 56 Gay D., Hoa S.V. *Composite materials: Design and applications*. Paris: CRC Press, 2007, 648 p.
- 57 Miheev S.V., Stroganov G.B., Romashin A.G. *Ceramic and composite materials in aerotechnics*. M.: Altex, 2002, 276 p. (in Russian)
- 58 Libenson G.A. *Production of powder products*. M.: Metallurgy, 1990, 240 p. (in Russian)
- 59 Himushin F.F. *Heat-resistant steels and alloys*. 2nd ed. M: Metallurgy, 1969, 752 p. (in Russian)
- 60 Youjun Yu, Jiansong Zhou, Jianmin Chen , Huidi Zhou, Chun Guo, Baogang Guo, Preparation, microstructure and tribological properties of Ni3Al intermetallic compound coating by laser cladding, *Intermetallics* 18 (2010) 871–876
- 61 Yoshihiro Terada, Kenji Ohkubo, Tetsuo Mohri, Tomoo Suzuki, Thermal conductivity of Ni3Al with ternary additions, *Materials Science and Engineering A311* (2001) 232–235
- 62 T.A. Dean, Precision forging, *Journal of Mechanical Engineering Science* 214 (C1) (2000) 113–126.
- 63 ZHANG Qun-li, YAO Jian-hua, Jyoti Mazumder, Laser Direct Metal Deposition Technology and Microstructure and Composition Segregation of Inconel 718 Superalloy, *JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH, INTERNATIONAL*. 2011, 18(4): 73-78
- 64 www.specialmetals.com – Special Metals| Home
- 65 Muthukannan Duraiswlvam et all, Particle-Laden Liquid Impact Erosion Characteristics of Laser Clad Ni-Based Intermetallic Matrix Composites with TiC and WC Reinforcements, Old City Publishing, Inc. 2005
- 66 Fencheng Liu, Xin Lin, Gaolin Yang, Menghua Song, Jing Chen, Weidong Huang, Microstructure and residual stress of laser rapid formed Inconel 718 nickel-base superalloy, *Optics & Laser Technology* 43 (2011) 208–213

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		140

- 67 W. Xu, R. Liu, P.C. Patnaik, M.X. Yao, X.J. Wu, Mechanical and tribological properties of newly developed Tribaloy alloys, *Materials Science and Engineering A* 452–453 (2007) 427–436
- 68 C.P. Paul, P. Ganesh, S.K. Mishra, P. Bhargava, J. Negi, A.K. Nath, Investigating laser rapid manufacturing for Inconel-625 components, *Optics & Laser Technology* 39 (2007) 800–805
- 69 P. Ganesh, R. Kaul, C.P. Paul, Pragya Tiwari, S.K. Rai, R.C. Prasad, L.M. Kukreja, Fatigue and fracture toughness characteristics of laser rapid manufactured Inconel 625 structures, *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 7490–7497
- 70 G.P. Dinda, A.K. Dasgupta, J. Mazumder, Laser aided direct metal deposition of Inconel 625 superalloy: Microstructural evolution and thermal stability, *Materials Science and Engineering A* 509 (2009) 98–104
- 71 Sen Yang, Wenjin Liu, Minlin Zhong, Zhanjie Wang, TiC reinforced composite coating produced by powder feeding laser cladding, *Materials Letters* 58 (2004) 2958–2962
- 72 www.hightempmetals.com – High Temp Metals
- 73 www.pomgroup.com – DMD3D Technology
- 74 L. Thivillon, D. Pervushin, Ph. Bertrand, I. Smurov, Industrial technology of laser assisted direct metal deposition, ENISE, DIPI Laboratory, Saint-Etienne, FR
- 75 Freedman D.A. *Statistical models: Theory and practice*. New York: Cambridge University Press, 2005, 424 p.
- 76 Emamian A., Corbin, S.F, & Khajepour A., (2010). "Study on Laser Parameters Effect on Morphology of In-Situ Fe-TiC particles Deposition on Mild Steel Using Laser Cladding Process" ICALEO Conference 2010, Anaheim, California, USA.
- 77 www accuratus.com/zirc.html - Zirconium Oxide
- 78 www.memsnet.org – MEMS Clearinghouse
- 79 www.matweb.com – MatWeb: Online Materials Information Resource
- 80 www.generalcarbide.co.uk - General Carbide Uk Ltd

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		141

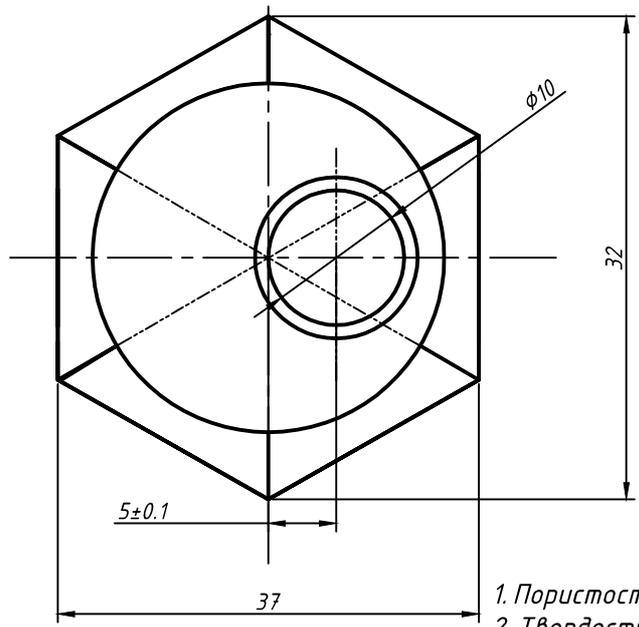
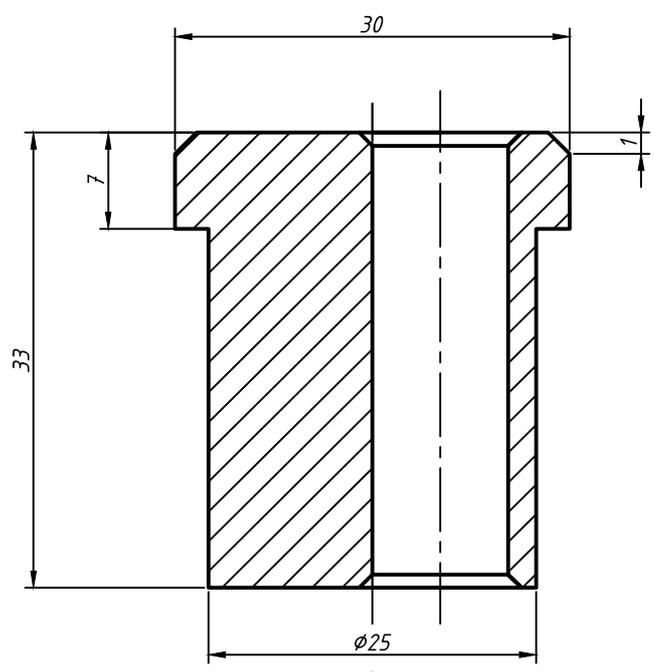
- 81 Sen Yang, Wenjin Liu, Minlin Zhong, Zhanjie Wang, TiC reinforced composite coating produced by powder feeding laser cladding, *Materials Letters* 58 (2004) 2958– 2962
- 82 Janne Nurminen, Jonne Näkki, Petri Vuoristo, Microstructure and properties of hard and wear resistant MMC coatings deposited by laser cladding, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 27 (2009) 472–478
- 83 www.stellite.com –Kennametal Stellite Group
- 84 D.J. Jeong, D.J. Kim, J.H. Kim, B.M. Kim, T.A. Dean, Effects of surface treatment and lubricants for warm forging die life, *Journal of Materials Processing Technology* 113 (2001) 544–550.
- 85 D.Cedat, Études expérimentale et numérique du comportement mécanique à hautes températures des cermets Mo-TiC, Thèse de l'Ecole Centrale de Paris (2008).
- 86 Э к к Е В . Проектирование цехов обработки порошковых и к : районных материалов. Учебное пособие к дипломному проекту. - Челябинск: ЧГТУ, 1992.-46 с.

					ЮУрГУ-150401-2017-234-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		142

150401-2017-234-00.00.00

Перв. примен.

Справ. №



- 1. Пористость - 12-28%
- 2. Твердость - не менее 45HB

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ЮУрГУ - 150401-2017-234-00.00.00

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Капкаев Г.С.		
Пров.				
Т.контр.		Самодурова		
Н.контр.		Самодурова		
Утв.		Шеркунов В.Г.		

Ось натяжного
ролика

Лит.	Масса	Масштаб
	0,1151	2:1
Лист	1	Листов
		1

ЖГРО,8 Д 4 Н 1

ЮУрГУ
Кафедра ПИМОМД

Копировал

Формат А4

	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.	
								Изм.	Лист
Перв. примен.	A 4		1	ЮУрГУ - 150401-2017-234-01.01.00	Пуансон верхний	1			
	A 4		2	ЮУрГУ - 150401-2017-234-01.01.00	Вставка верхняя	1			
	A 4		3	ЮУрГУ - 150401-2017-234-01.01.00	Вставка нижняя	1			
	A 3		4	ЮУрГУ - 150401-2017-234-01.01.00	Обойма	1			
	A 4		5	ЮУрГУ - 150401-2017-234-01.01.00	Пуансон нижний	1			
	A 4		6	ЮУрГУ - 150401-2017-234-01.01.00	Стержень	1			
Справ. №			7		Колонка	1			
			8		Верхняя плита	1			
			9		Крепежная шайба	1			
			10		Крепежная шайба	1			
			11		Нижняя плита	1			
Подп. и дата									
Взам. инв. №									
Инв. № дубл.									
Подп. и дата					Приложение Б				
					ЮУрГУ - 150401-2017-234-01.01.00 СП				
Инв. № подл.	Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
	Разраб.		Капкаев Г.С.			Лит.	Лист	Листов	
	Проб.		Самодурова М.Н.				144	146	
	И.контр.		Самодурова М.Н.			ЮУрГУ Кафедра ПИМОМД			
Утвердил		Шеркунов В.Г.							

Копировал

Формат А4

**Пакет
инструментов**

Приложение Г. Свойства армирующих фаз[78-81]

Армирующая фаза	Плотность, гр/см ³	Твердость, HV	Предел прочности на разрыв Rm, МПа	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел текучести Rp, ГПа	Модуль упругости E, ГПа	Коэффициент термического расширения α, мкм/м*К	Теплопроводность λ, Вт/м*К	Температура плавления, °С
TiC	4,9	3390	2500	3900	20	439 (26 °С) 379 (1000 °С)	8.31 (1000 °С)	17 (26 °С) 5,64 (1000 °С)	3433
WC	17,7	2200	344	2683 (26 °С) 1400 (1000 °С)	-	669	5,2-7,3	84-100	2870
VC	5,71	2950	-	607	-	268	7,2	-	2730
Cr₃C₂	6,7	2280	-	1039 (26 °С) 413 (1400 °С)	-	368	10,3	189,7	1895
Mo₂C	8,2	1950	-	2700	-	553	7,8	-	2692
ZrO₂	6	1300	-	1800	-	200	10,3	2	2715