

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

_____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ В.Г.Шеркунов

“ _____ ” _____ 2017 г.

Тема работы: «Исследование процессов создания многофункциональных покрытий
методами газодинамического напыления»

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

Руководитель работы:
М.Н. Самодурова _____//

Автор работы
Н.А. Щетинина _____/

студент группы П-249

Челябинск
2017

АННОТАЦИЯ

Щетинина Н. А. Исследование процессов создания многофункциональных покрытий методами газодинамического напыления. – Челябинск: ЮУрГУ, П; 2017, 111с., 48 илл., библиогр. список — 42 наим., 7 листов чертежей ф. А1, 2 листа чертежей ф. А2, 4 листа чертежей ф.А4.

В выпускной квалификационной НИР разработана технология изготовления детали конструкции блока питания, спроектирована технологическая оснастка.

Рассчитаны: программа выпуска, необходимое количество человек для изготовления детали. Спроектирован план участка.

В исследовательской части работы сделан литературный обзор причин износа технологической оснастки и способы повышения износостойкости. Выбраны современные способы нанесения упрочняющих покрытий – лазерная наплавка и холодное газодинамическое напыления. Предложены эксперименты с различными параметрами напыления и упрочняющее покрытие – порошки Мо-WS и Мо-WS-Ni.

Проведена автоматизация установки холодного газодинамического напыления.

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Щетинина Н.А.			Исследование процессов создания многофункциональных покрытий методами газодинамического напыления	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Самодурова М.Н.					4	111
<i>Реценз.</i>		Торшин М.В.				ЮУрГУ Кафедра «ПиМОМД»		
<i>Н. Контр.</i>		Самодурова М.Н.						
<i>Утверд.</i>		Шеркунов В.Г.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ КОНСТРУКЦИИ БЛОКА ПИТАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	11
1.1 Анализ технологичности детали.....	11
1.2 Общая схема технологического процесса	14
1.3 Рассев порошков Fe и Cu	15
1.4 Приготовление смеси	16
1.5 Контроль смеси.....	17
1.6 Прессование в пресс – форме.....	18
1.7 Контроль спрессованного изделия	23
1.8 Спекание.....	24
1.9 Контроль спеченного изделия.....	26
1.10 Холодное калибрование.....	29
1.11 Контроль калиброванного изделия.....	32
2 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕСС – ФОРМ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВ	34
2.1 Расчет высоты спрессованного изделия	34
2.2 Расчет размеров рабочей полости матрицы	38
2.3 Определение размеров стержня.....	41
2.4 Определение размеров пуансонов	45
2.5 Определение наружных размеров матрицы	46
2.6 Определение усилия прессования и усилия выталкивания	47
2.7 Определение массы навески порошка.....	48

2.8 Прочностные расчеты пуансонов	49
2.9 Выбор материалов инструмента	51
3 ИЗНОС ПРЕСС-ФОРМ.....	53
3.1 Литературный обзор.....	53
3.2 Способы восстановления пресс-форм.....	55
3.2.1 Лазерная наплавка	55
3.2.2 Холодное газодинамическое напыление	64
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	70
4.1 Выбор способа наплавки	70
5.1.2 Эксперименты с применением лазерной наплавки	70
4.2 Выбор способа напыления	80
4.3 Выбор материалов для работы.....	90
5 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА	94
6 ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	99
6.1 Производственная программа	99
6.2 Расчет оборудования.....	99
6.3 Определение работающего состава участка и его численности	102
6.4 Расчет численности вспомогательных рабочих	103
6.5 Расчет численности служащих	103
6.6 Расчет расхода основных, вспомогательных материалов и энергоносителей	104
6.7 Площади, компоновка и планировка участка.....	105
6.8 Выбор здания цеха и его параметров	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ВВЕДЕНИЕ

Порошковая металлургия является одним из перспективных направлений в создании новых материалов и высокоэффективных технологий в металлургическом и машиностроительном производстве. Технология порошковой металлургии позволяет создавать материалы с новыми качественными и прочностными характеристиками, безотходные производства изделий различного назначения, повысить производительность труда, снизить себестоимость готовой продукции, широко внедрять комплексную автоматизацию и механизацию. [1]

Один из существенных минусов порошкового производства – износ пресс-форм, который влияет на себестоимость продукции и качество формируемой заготовки.

Повышение качества структуры, а, следовательно, и физико-механических свойств пресс-форм является одной из актуальных задач машиностроения. Для решения таких задач созданы и продолжают создаваться инновационные способы, устройства и технологии для получения материалов с заданной структурой и свойствами.

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 наплавки композитного материала на деталь является лазерная наплавка. Однако, этот способ малопродуктивный и энергозатратный.

При традиционных высокотемпературных методах получения износостойких покрытий существует большая вероятность возникновения остаточных термических напряжений в диффузионном слое, ухудшение структуры напыляемого материала, изменение химического состава. [2 – 4]. Наиболее перспективным методом, позволяющим значительно снизить воздействие

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

температурного поля потока является метод холодного газодинамического напыления.

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 конструкции блока питания.

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. Были поставлены следующие задачи:

- изучить механизмы износа инструмента при процессах холодного прессования;
- рассмотреть основные способы повышения износостойкости и срока службы инструмента;
- выбор и анализ оптимальных параметров лазерной наплавки и ХГН для оценки влияния этих параметров на структуру и геометрию покрытия;
- рассмотреть и предложить технологию лазерной наплавки и холодного газодинамического напыления покрытий из интерметаллических порошков, которые будут обладать достаточными физическими и химическими свойствами.

В пятой главе была предложена автоматизация процесса нанесения износостойкого материала на рабочие детали пресс-форм.

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

В последней главе содержатся выводы данной работы.

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

1 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ КОНСТРУКЦИИ БЛОКА ПИТАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

1.1 Анализ технологичности детали

Деталь конструкции блока питания (чертеж 150401.2017.239.00.00) имеет неизменное сечение по высоте с параллельными плоскостями, также имеется отверстие. Деталь относится к III группе сложности.

Для получения детали конструкции блока питания рекомендуется в углах выполнять скругления $R \geq 0,5 - 1$ мм (рисунок 1), улучшающие возможность выперсовки из пресс-форм и повышающие стойкость инструмента [3].

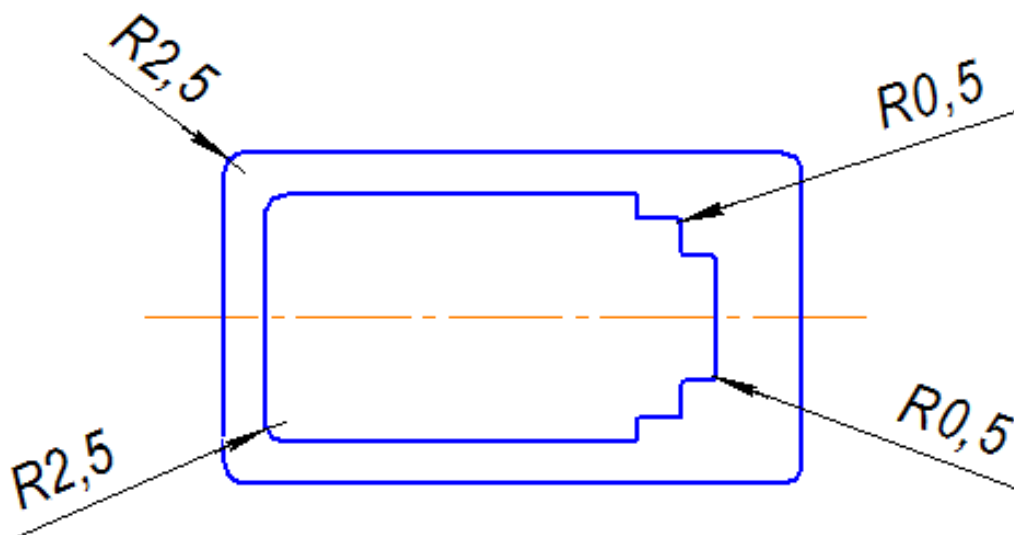


Рисунок 1 – Указания мест радиусов скругления детали

Изделие данной группы сложности можно получить при прессовании в пресс-форме на механическом прессе – автомате серии КА.

Деталь изготавливается из смеси железного (98%) и медного (2%) порошков – ЖД2.

Выбираем марку железного порошка в соответствии с ГОСТ 9849-86 [7], – ПЖВ4, так как деталь неответственная и ненагруженная.

									Лист
									11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ				

ПЖВ4.160.24 ГОСТ 9849 – 8 – порошок железный восстановленный по гранулометрическому составу 160 мкм, с насыпной плотностью 24. Его характеристика приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Состав порошка ПЖВ4

Fe	C	Si	Mg	S	P	O ₂	Остаток нерастворимости в соляной кислоте	Насыпная плотность г/см ³	Прочность прессовок, МПа, не менее	Текучесть, с/50г, не более
Основа	0,12	0,2	0,45	0,03	0,03	1,0	0,5	св 2,3 до 2,5 вкл	22	40

Марку медного порошка выбираем согласно ГОСТ 4960 – 75 [4]

ПМС-2.

ПМС-2 – медный порошок, полученный электролизом, стабилизированный. Форма частиц – дендритная, разветвленная. Характеристика порошка представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика ПМС-2 ГОСТ 4960-75

Сu, не менее	Fe	Pb	As (мышьяк)	Sb (сурьма)	O ₂	Влага	Прокаленный остаток после обработки порошка азотной кислотой, не более	Номинальный размер частиц порошка, мм	Насыпная плотность, г/см ³
99,5	0,02	0,05	0,005	0,01	0,3	0,05	0,05	0,071	1,3 - 2,0

1.2 Общая схема технологического процесса

Для получения детали конструкции блока питания воспользуемся традиционной технологической схемой, включающей операции подготовки исходных материалов, формирования заготовок, спекания и калибрования (рисунок 2)

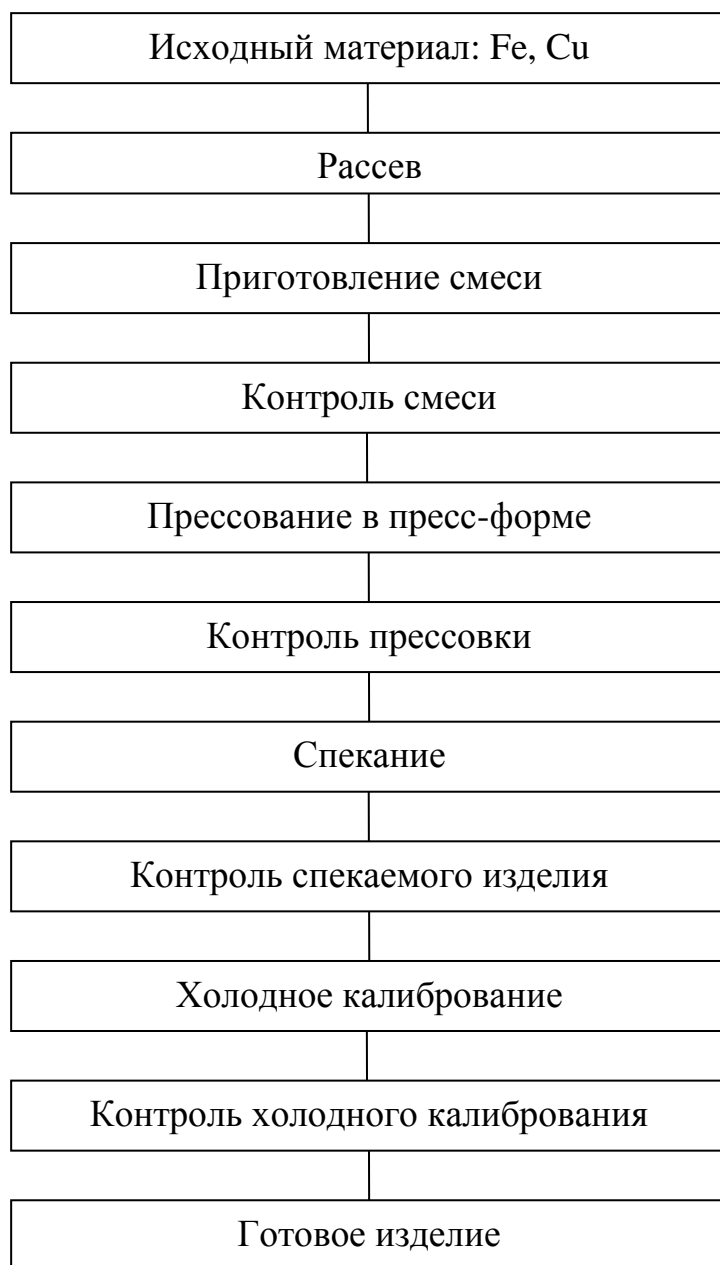


Рисунок 2 – Схема технологического процесса

1.3 Рассев порошков Fe и Cu

Для отсева медного и железного порошков применим вибрационное сито, как более производительное устройство по сравнению с другими.

Техническая характеристика вибрационного сита ВС2 приведена в таблице 3.

Таблица 3 – техническая характеристика вибрационного сита ВС2

Основные показатели	Величина
Производительность, т/ч	0,25
Скорость вращения двигателя, об/мин	1410x2400
Род тока	Переменный Трехфазный
Напряжение, Вт	380
Мощность, кВт:	
Потребляемая, не более	0,55
Установочная	7,0
Габаритные размеры, м	1,2x0,75x1,2

Для прессования применяем порошки по гранулометрическому составу равные:

Fe – 160 мкм;

Cu – 71 мкм.

Рассев порошка обеспечивает получение шихты с фракциями, имеющими более узкие диапазоны размеров частиц по сравнению с исходным порошком. Это необходимо для получения заданной структуры и свойств материала изделия после формования и спекания [8].

1.4 Приготовление смеси

Для приготовления смеси ЖД2, произведем смешивание – подготовку однородной механической смеси из металлических порошков железа и меди различного химического граммсостава.

Сначала сделаем развеску, затем механическое смешивание. Также необходимо добавить 1% пластификатора.

В качестве пластификатора, применим стеарат цинка [6].

Для развески компонентов приготовленной смеси воспользуемся весами марки СВП – 1500 – 10.

На весах взвешиваем $m_{Fe} = \frac{0,63 \cdot 98}{100} \cdot 2,4 = 1,48$ г порошка железа и $m_{Cu} = \frac{0,63 \cdot 2}{100} \cdot 1,6 = 0,02$ г порошка меди.

Техническая характеристика весов марки СВП-1500-10 приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика технических весов марки СВП – 1500 – 10

Наименование	НПВ, кг	ЦД, г	Размер платформы, мм
СВП – 1500 – 10	1500/600	50/200	1250x1100

НПВ – наибольший предел взвешивания;

ЦД – цена деления (дискретность отсчёта).

Смешивание будем производить в плунжерном смесителе периодического действия.

Продолжительность смешивания 20 – 30 минут.

Техническая характеристика плунжерного смесителя периодического действия ПЖ – 630 НБК приведена в таблице 5.

Нужно отметить, что всё оборудование для приготовления смеси изготавливается из нержавеющей стали.

Таблица 5 – Техническая характеристика плунжерного смесителя периодического действия ПЖ – 630 НБК (СПЖ – 630 НБК) [4]

Основные параметры	Величина
Объем смесительной камеры, м ³ :	
номинальный	0,63
рабочий	1,0
Рабочие давление	Атмосферное
Рабочая температура, °С	30
Частота вращения, об/мин:	
ротора	60
вала ножевой головки	1430
Габаритные размеры, мм	3520x1800x1800
Масса, кг	5020

1.5 Контроль смеси

Для определения равномерности пластифицированной смеси производят отбор проб.

С помощью пробоотборочного щупа из ёмкости по всей высоте содержимого отбирается пять точечных проб. Расстояние от внутренней боковой поверхности ёмкости до места отбора пробы не должно быть меньше 1/3 её радиуса.

Места отбора проб должны располагаться равномерно по всему объёму шихты.

Точечные пробы сыпаются в сосуд, перемешиваются, и получается объединенная проба, которая сокращается одним из способов, предусмотренных ГОСТ 23148 – 78, до получения представительной пробы массой не менее 0,7 кг.

Для химического анализа отбираются две пробы массой по 0,02 кг. [4].

В полученной смеси должно содержаться: 98% - Fe и 2% - Si, а также (0,5-1)% пластификатора, принимаем 1% пластификатора.

1.6 Прессование в пресс – форме

Для прессования детали конструкции блока питания из смеси железа с медью применим стационарную пресс-форму для прессы – автомата.

Основные детали пресс-формы: составная матрица, верхний пуансон, нижний пуансон, стержень.

Прессование в пресс-форме – одностороннее, так как отношение высоты детали (h) к толщине стенки (s) не лежит в пределах от 3 до 17 [4];

$$\frac{h}{s} = \frac{11}{4,5} = 2,44 < 3.$$

При одностороннем прессовании давление будет прикладываться к верхнему пуансону, а выпрессовка изделия будет осуществляться путем перемещения нижнего пуансона [3].

Для выбора прессы необходимо определить усилие прессования.

Усилие прессования определим по формуле:

$$P = p \cdot F \cdot q \quad (1)$$

Где p – удельное давление прессования, $p = 740,9$ МПа (см. расчетную часть, п.2.6);

F – площадь поперечного сечения рабочей полости матрицы, $F = 731,9$ мм² (см. расчетную часть, п.2.6.);

q – количество одновременно прессуемых деталей в пресс-форме, $q = 1$.

$$P = 740,9 \cdot 731,4 \cdot 1 = 541894,26 \text{ Н}$$

Необходимое усилие прессы определим по формуле:

$$P_{\text{п}} = 1,5P \quad (2)$$

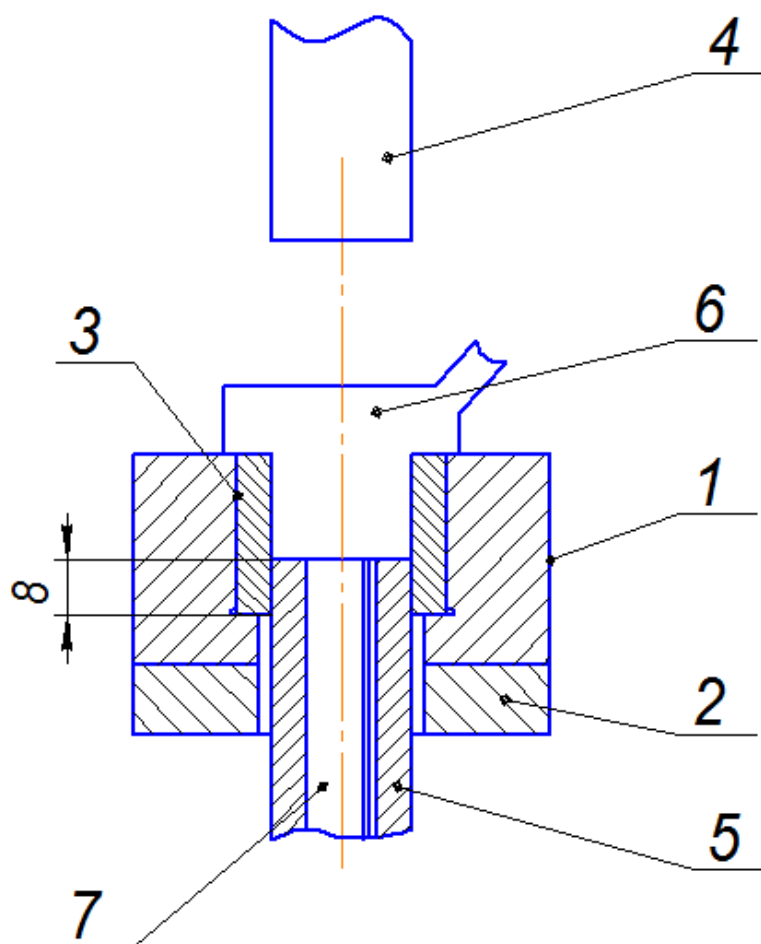
$$P_{\text{п}} = 1,5 \cdot 541894,26 = 812,84 \text{ кН}$$

По рассчитанному усилию прессы выбираем механический пресс – автомат серии КА, которая предназначена для прессования изделий из металлических порошков, простой формы, с высокой чистотой поверхности и размерами по второму – третьему классу точности. Техническая характеристика выбранного прессы – автомата приведена в таблице 6.

Таблица 6 - Техническая характеристика пресса – автомата КА8130 для прессования металлических порошков

Параметры	Значения для модели
Номинальное усилие, кН	1000
Наибольшая высота засыпки порошка в матрицу, мм	180
Наибольший диаметр изделия в плане, мм	125
Ход ползуна, мм	265
Частота ходов прессующей головки, мин ⁻¹	5 – 10
Усилие выталкивателя, кН	300
Суммарная мощность привода, кВт	26,5
Габариты, мм	1800x2800x3075
Масса, т	15,5

Описание процесса прессования: процесс прессования детали конструкции блока питания происходит следующим образом (рисунок 3).



а)

Рисунок 3 – схема прессования детали:

а) засыпка порошка; б) подъем стержня; в) прессование;

г) выталкивание детали.

1 – обойма;

2 – плита;

3 – вставка;

4 – верхний пуансон;

5 – нижний пуансон;

6 – питатель;

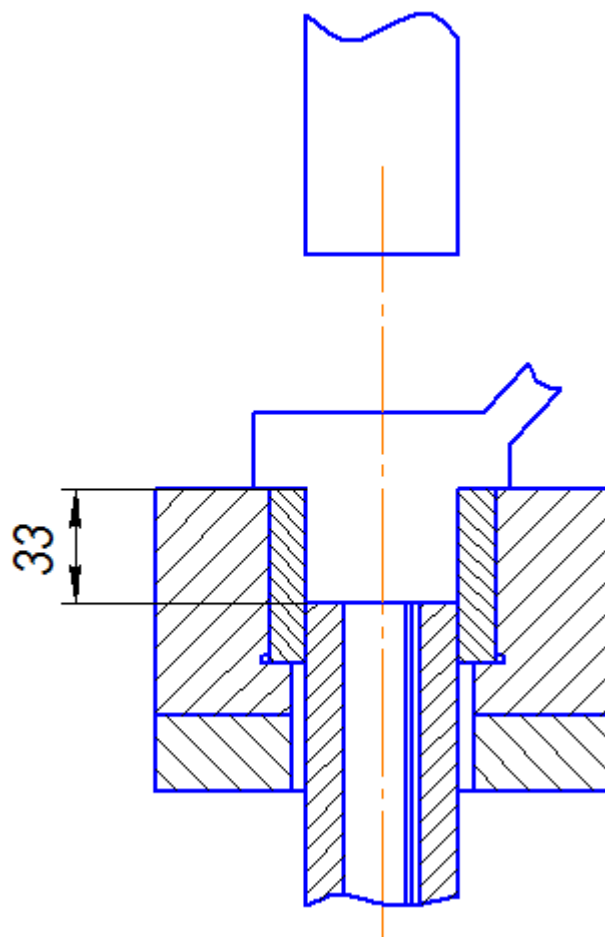
7 – стержень.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

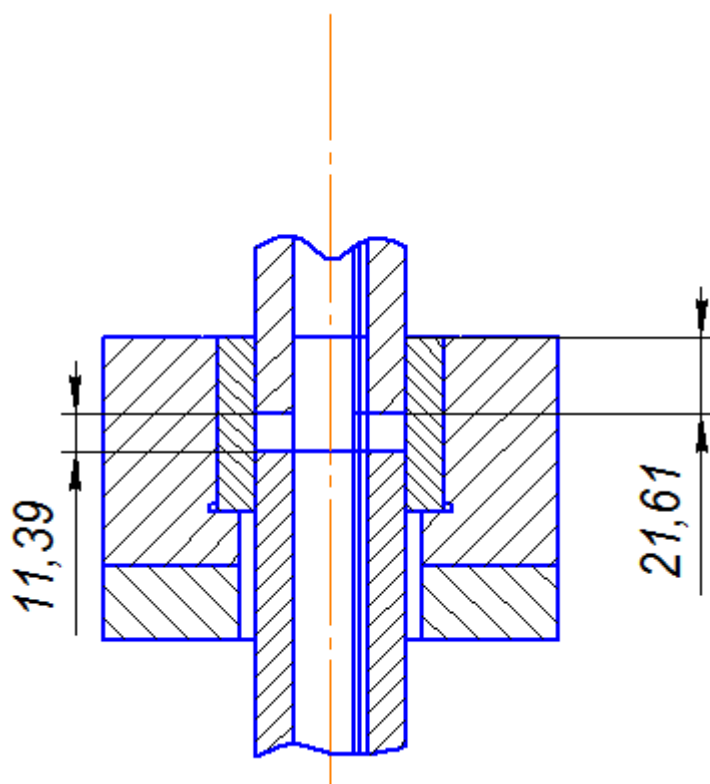
ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ

Лист

20



б)



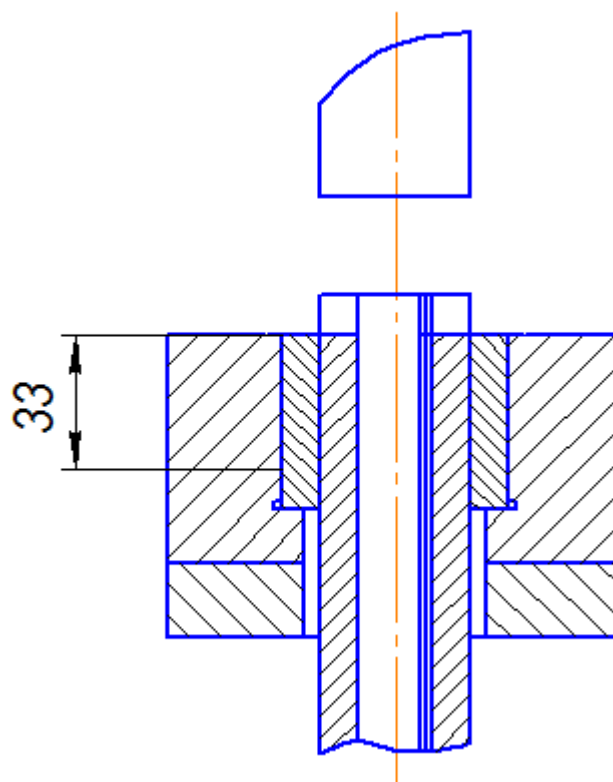
в)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ

Лист

21



г)

В исходном положении нижний пуансон находится в матрице на величину 8 мм, верхний пуансон находится сверху. Характерной особенностью данной схемы является то, что порошок (рисунок 3а) засыпается из питателя 6 в рабочую полость матрицы 1 без стержня 7, затем, пока питатель находится над окном матрицы 1, стержень 7 поднимается вверх (рисунок 3б) и выталкивает излишки порошка обратно в питатель 6. Масса навески порошка должна составлять 62,53 г. Прессование осуществляется верхним пуансоном 4 (рисунок 3в), при этом нижний пуансон 5 и стержень 7 неподвижны. Верхний пуансон заходит в матрицу на величину 21,61 мм.

Выталкивание спрессованного изделия (рисунок 3г) осуществляется нижним пуансоном 5, при этом ход нижнего пуансона составляет 33 мм. Стержень 7 движется вверх, а после того, когда изделие получает упругое расширение (последствие), уходит вниз.

Сталкивает изделие питатель.

1.7 Контроль спрессованного изделия

Прессованное изделие подвергают визуальному осмотру, при обнаружении брака необходимо устранить причины его появления. Возможные виды брака, причины и меры его устранения приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Брак при прессовании [4]

Вид брака	Причины	Меры устранения
Расслой	Повышенное давление прессования, большая упругая деформация матрицы	Уменьшить давление прессования, увеличить жесткость матрицы
Трещины на поверхности	Отсутствие на матрице конуса для выпрессовки	Изготовить на матрице конус для выпрессовки
Риски на поверхности детали	Неудовлетворительное качество поверхности матрицы	Отполировать поверхность матрицы, сохраняя допустимые размеры
Сколы и осыпания на торцах детали	Плохая обработка рабочей поверхности пуансонов	Отшлифовать, отполировать или заменить пуансоны
Образование заусенцев	Выработка торцевых кромок пуансонов	Отшлифовать торцы пуансонов, заменить пуансоны
Отклонение по плоскости спрессованных изделий	Неправильный расчет навески, нарушение дозировки шихты, неверный выбор схемы прессования, не отрегулированное положение формующего пуансона	Скорректировать массу, отрегулировать привод дозатора, выбрать правильную схему прессования, отрегулировать положение формующего пуансона

Также необходимо регулярно контролировать массу навески, которая должна составлять 62,53 г и высотный размер изделия – 11,39 мм. Все остальные размеры контролировать не реже 1-3 раз в смену.

Бракованные детали после прессования разламываются и измельчаются в порошок на дискозубчатой дробилке и окончательно – в шаровых мельни-

цах. После просева через сито полученный порошок добавляют к основному в количестве 10 – 15% [4].

1.8 Спекание

Спекание – третья из основных технологических операций. При спекании осуществляется достижение необходимого уровня свойств порошкового тела, формирующихся в процессе его нагрева.

Рекомендуемый режим спекания детали конструкции блока питания приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры спекания порошковой детали конструкции блока питания [4]

Марка материала	Режим спекания		Рекомендуемые защитные среды
	Температура, °С	Время выдержки, ч	
ШД 2	1150±10	1	Диссоциированный аммиак, водород

В качестве защитной среды выберем диссоциированный аммиак, так как он значительно дешевле водорода и является его хорошим заменителем.

Диссоциированный аммиак содержит 75% водорода и 25% азота.

Для осуществления процесса спекания выберем толкательную электропечь СЖ – 2.45.2,0/11,5 (таблица 9).

Таблица 9 – Техническая характеристика толкательной электропечи СТН – 2.45.2,0/11,5 [4]

Основные параметры	Величина
Максимальная рабочая температура, К	1423
Установленная мощность, кВт	36
Напряжение сети на нагревателях, В	380
Частота тока, Гц	50

Окончание таблицы 9

Число фаз	1
Число рабочих камер	1
Число тепловых зон	3
Основные параметры	Величина
Материал электронагревателей	Молибденовая проволока Ф 1,5 мм
Защитный газ	Водород или азотоводородная смесь
Расход, мЗч:	
газа	2
азота при продувке	-
воды для охлаждения	0,5
Размеры рабочего пространства, мм:	
длина	4000
ширина	200
высота	200
Наружные размеры графитовой лодочки (длина х ширина х высота), мм	300x180x150
Габаритные размеры печи, м:	
длина	7,1
высота	1,3
ширина	2,1
Длина зоны спекания, мм	2500
Масса, т	3,9

Деталь конструкции блока питания спекают в диссоциированном аммиаке в защитной засыпке. В качестве засыпки используют SiO₂, порошок гранита или сажу. Засыпку насыпают слоем 15-20 мм на дно лодочки для спекания, загружают на него спрессованные заготовки в количестве 20 штук и покрывающих слоем засыпки 3 – 5 мм, после чего укладывают следующий

слой заготовок, снова укрывают его засыпкой и так до заполнения полезного объема лодочки.

Верхний слой засыпки должен иметь толщину примерно 10 мм.

В графитовую лодочку загружают 140 спрессованного изделия. Одновременно в рабочем пространстве печи находится 13 лодочек (1820 спрессованных изделий), при этом непосредственно в зоне спекания – 8 лодочек (1120 спрессованных изделий).

Для определения такта выхода каждой лодочки рабочего пространства печи, время выдержки поделим на количество лодочек, находящихся в ней:
 $60/8 = 7,5 \approx 7$ мин/шт.

Для определения производительности печи количество деталей находящихся в одной лодочке поделим на такт выхода лодочек из рабочего пространства печи: $140/7=20$ шт/мин.

1.9 Контроль спеченного изделия

Спеченное изделие подвергают визуальному осмотру. При обнаружении брака необходимо устранить причины его появления. Возможные виды брака, причины и меры его устранения приведены в таблице 10.

Необходимо контролировать высотный размер спеченного изделия 11,39 мм, а также плотность изделия после спекания, которая должна составлять $6,66 \text{ г/м}^3$. Все остальные размеры контролировать не реже 1-3 раз в смену.

Бракованные спеченные детали подлежат переработке в виде кускового лома соответствующих по химическому составу материалов.

Таблица 10 – Брак при спекании [4]

Вид брака	Причины	Методы устранения
Недопекание – низкие значения свойств деталей	Нарушение режима спекания (снижение температуры)	Повторное спекание

Продолжение таблицы 10

Пережог – растрескивание, оплавление, пузыри и вздутия на поверхности деталей	Превышение температуры спекания	Снижение температуры до заданной
Окисление деталей	Нарушение состава защитной атмосферы	Повторное спекание в восстановительной атмосфере, иногда брак неисправим
Корабление деталей	Неравномерная плотность прессовок, чрезмерно высокая скорость подъема температуры	Горячая или холодная деформация бракованных деталей, снижение скорости нагрева, спеканте под давлением
Обезуглероживание	Повышенное содержание воды и углекислого газа в защитной атмосфере	Использование защитных углеродосодержащих засыпок, металлические или графитовые крышки на лодочках
Вспучивание – пузыри на поверхности деталей	Расплавление компонентов материала из-за неравномерного нагрева при твердофазном спекании	Подбор порошков, изменение режима спекания и способа нагрева
Скрытый расслой	Образование трещин на стадии прессования	Устраняется на стадии прессования

Окончание таблицы 10

Корочка	Разложение вводимых в шихту смазок и связок	Применение засыпок, медленный нагрев деталей, увеличение расхода защитного газа
Выхошевание – выделение жидкой фазы на поверхности деталей	Плохая смачиваемость жидкой фазой тугоплавкой составляющей, избыточное ее количество	Брак неисправим, устраняется изменением химического состава материала
Налет	Разложение на поверхности деталей смазок или защитной атмосферы	Брак неисправим, устраняется изменением смазки, атмосферы (он может иногда допускаться техническими условиями на деталь)

Плотность и пористость спеченных образцов и изделий, как и прессовок определяют по ГОСТ 18898 – 73 расчетным или гидростатическим методом [4].

Плотность определяется методом взвешивания образцов на воздухе и в воде, глубина погружения образцов должна быть не менее 10 мм.

Плотность спеченного изделия определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 \cdot \rho_v}{m_1 - m_2} \text{ г/см}^3$$

Где m_1 и m_2 – масса образца на воздухе и в воде, г;
 ρ_v – плотность воды, зависящая от температуры, г/см³.

Если объем одного образца меньше 0,5 см³, измерение производят на нескольких образцах суммарных объемом не менее 0,5 см³, при этом объем каждого должен быть не менее 0,05 см³.

Оценка пористости осуществляется с помощью шкал и является полуколичественной. Для качественной оценки используют следующие методы:

- точечный;
- линейный;
- площадей.

Первый метод применяют для оценки мелких пор, второй и третий – для крупных.

1.10 Холодное калибрование

Для достижения заданной размерной точности, устранения коробления и других дефектов спекания порошковые изделия калибруют. При этом материал деформируется в значительной меньшей степени, чем при допрессовки. Чтобы не увеличивать усилие калибрования, припуск на калибрование должен быть минимальным. Необходимо чтобы величина уплотнения изделия при калибровании изменялась не более чем на 1-3%. Смазка инструмента и изделий перед калиброванием позволяет значительно снизить усилие, улучшить качество поверхности. Используют сухую смазку, поверхность изделий покрывают стеаратом цинка во вращающихся барабанах.

Калибрование изделий без переходов по высоте обычно не вызывает затруднений. Операция калибрования осуществляется на специализированных прессах [8].

Усилие калибрования определяется по формуле [11]:

$$P_k = (0,2-0,3) P_{пр}, \quad (3)$$

где $P_{пр}$ - усилие прессования, кН;

$$P_k = 0,3 \cdot 541,89 = 162,567 \text{ (кН)}.$$

$$P_k = 1,5 \cdot P_k = 1,5 \cdot 162,567 = 243,85 \text{ (кН)},$$

где P_k – усилие калибровочного пресса, кН.

В данной работе калибрование детали конструкции блока питания проведем с отрицательным припуском.

По рассчитанному усилию калибровочного пресса выбираем необходимый вид пресса-автомата. Техническая характеристика механического калибровочного пресс-автомата серии КБОЧ приведена в таблице 11.

У выбранного пресса механизированы операции загрузки и выгрузки деталей, для ориентации изделия используется шибберная подача [5].

Специализированные калибровочные пресса – автоматы позволяют получать изделия по 7-, 8-му квалитетам с высокой чистотой поверхности, эти изделия не требуют дополнительной механической обработки [5].

Таблица 11 – Техническая характеристика механического калиброванного пресса – автомата модели КБО424[5]

Параметры	Значения
Номинальное усилие, кН	630
Усилие выталкивателя, кН	315
Ход калибрующей головки, мм	220
Ход выталкивателя, мм	110
Наибольшая высота изделия, мм	80
Размер изделия, мм	100
Частота ходов мин ⁻¹	18 – 45
Мощность привода, кВт	17/25
Габариты, мм	2070x2300x3715
Масса, кг	11800

Описание процесса калибрования: процесс калибрования детали конструкции блока питания происходит следующим образом (рисунок 4).

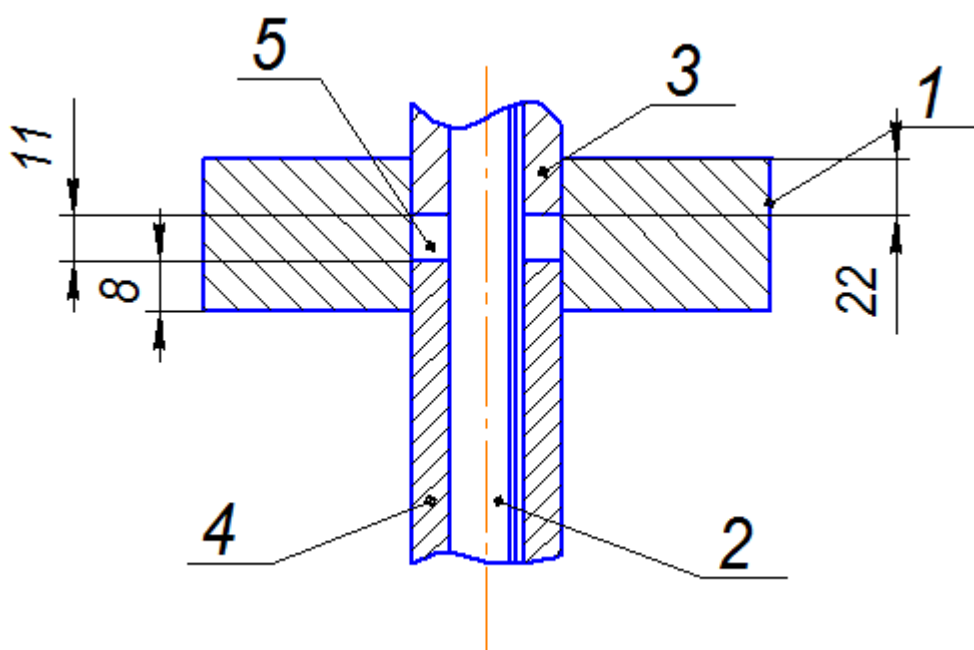


Рисунок 4 – Схема калибровки спеченного изделия:

- 1 – калибрующая матрица;
- 2 – калибрующий стержень;
- 3 – верхний пуансон;
- 4 – нижний пуансон;
- 5 – готовое изделие.

В исходном положении нижний пуансон 4 находится в матрице на величину 8 мм, верхний пуансон 3 находится вверху, стержень 2 также находится вверху.

По средствам шиберной подачи спеченное изделие доставляется и ориентируется в зоне калибрования.

Калибрование осуществляется с отрицательным припуском (т.е. $H_{сп} > H_k$: $11,39 > 11$ мм). Калибрование осуществляется верхним пуансоном 3, который заходит в калибрующую матрицу 1 на величину 22 мм, при этом нижний пуансон 4 и калибрующий стержень 2 неподвижны.

Выталкивание калиброванного изделия 5 осуществляется нижним пуансоном 4, при этом ход нижнего пуансона составляет 33 мм.

Готовое изделие удаляется по средствам шиберной подачи.

1.11 Контроль калиброванного изделия

Калиброванное (готовое) изделие подвергают визуальному осмотру, при обнаружении брака необходимо устранить причины его появления. Возможные виды брака, причины и меры по его устранению приведены в таблице 12.

Необходимо контролировать все размеры калиброванного изделия, а также его массу, которая должна составлять 0,061 кг, плотность 6,9 г/м³, пористость – 12 – 28% и твердость – не менее 45 НВ.

При калибровании порошковых спеченных деталей брак является главным образом следствием неправильно проведенных предыдущих операций, в основном прессования. Бракованные спеченные детали после калибрования сдаются в переплав как металлолом.

Таблица 12 – Брак при калибровании порошковых деталей [4].

Вид брака	Причины	Меры устранения
Неполное заполнение формы	Занижение массы заготовки	Увеличить массу заготовки
Образование заусенцев	Завышение массы заготовки. Выработка торцевых кронок пуансонов	Уменьшить массу заготовки. Отшлифовать торцы пуансонов, заменить пуансоны
Фестонишность открытого торца детали	Смещение пуансона относительно матрицы	Отрегулировать положение пуансона
Продольные трещины при высадке и осадке	Завышение высоты калибрующего пояса инструмента. Недостаточная пластичность материала	Уменьшить высоту пояса, снизить степень деформации

Окончание таблицы 12

Вид брака	Причины	Меры устранения
Поперечные трещины и задиры	Плохое качество смазки. Неудовлетворительное качество поверхности инструмента	Улучшить качество смазки. Сменить инструмент.

2 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕСС – ФОРМ ДЛЯ ХО- ЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВ

2.1 Расчет высоты спрессованного изделия

1) масса готового изделия:

$$M = \rho_r V_r \quad (4)$$

где:

ρ_r – плотность готового изделия, $\rho_r = 6,9 \text{ г/см}^3$;

V_r – объем готового изделия, мм^3 .

Объем готового изделия рассчитывают по формуле (рисунок 5):

$$V_r = V - (V_1 + V_2 + V_3) \quad (5)$$

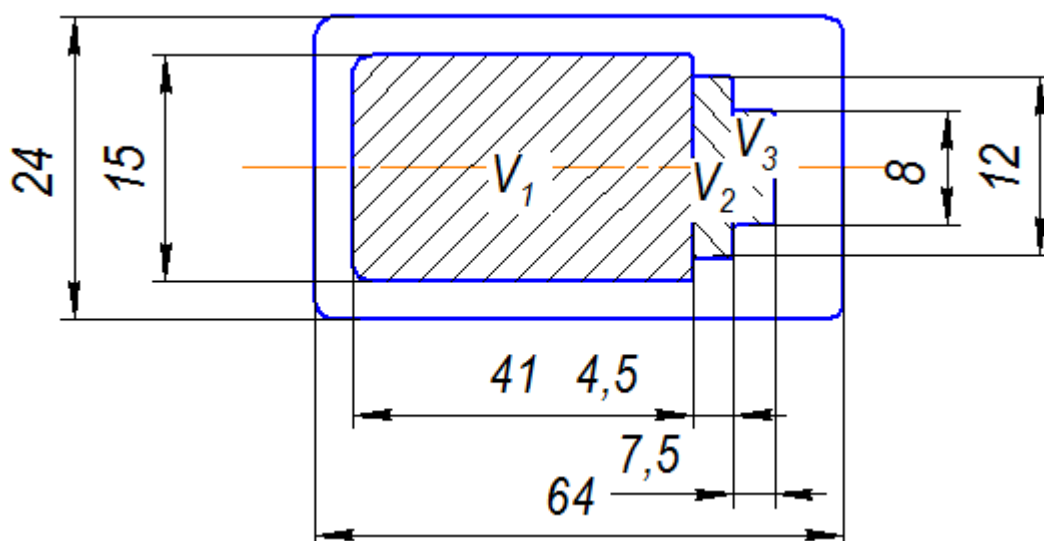


Рисунок 5 – Расчет объема готового изделия

$$V_r = 24 \cdot 64 \cdot 11 - (41 \cdot 15 \cdot 11 + 4,5 \cdot 12 \cdot 11 + 7,5 \cdot 8 \cdot 11) = 8877 \text{ мм}^3;$$

$$M = 6,9 \cdot 0,008877 = 60 \text{ г.}$$

2) Плотность изделия после спекания:

$$\rho_{сн} = \rho_z \left(1 - \frac{\Delta \rho_{\text{кал}}}{100}\right) \quad (6)$$

где:

$\Delta \rho_{\text{кал}}$ – прирост плотности при калибровании, $\Delta \rho_{\text{кал}} = 3,5\%$;

$$\rho_{сн} = 6,9 \cdot \left(1 - \frac{3,5}{100}\right) = 6,66 \text{ г/м}^3.$$

3) Объем изделия после спекания:

$$V_{cn} = V_z \left(1 - \frac{\Delta\rho_{кал}}{100}\right) \quad (7)$$

$$V_{cn} = 8877 \left(1 - \frac{3.5}{100}\right) = 9187,695 \text{ мм}^3$$

4) Высота изделия после спекания при калибровании с относительным припуском, так как наблюдается рост при спекании $h_{сп}$ h_k :

$$h_{cn} = h_z \left(1 - \frac{\Delta\rho_{кал}}{100}\right) \quad (8)$$

где:

h_r – высота готового изделия, мм;

$$h_{cn} = 11 \cdot \left(1 - \frac{3,5}{100}\right) = 11,39 \text{ мм.}$$

5) Масса спрессованного изделия:

$$M_{пр} = K_2 * M_r \quad (9)$$

где

K_2 – коэффициент, учитывающий потери массы детали при спекании в результате восстановления окислов и сгорания примесей, составляющий 1,01 – 1,03;

$$M_{пр} = 1,02 * 0,061 = 0,062 \text{ кг.}$$

6) Объем спрессованного изделия:

$$V_{пр} = V_{cn} \left(1 - \frac{\phi_v}{100}\right) \quad (10)$$

где:

ϕ_v – объемная усадка,

$$\phi_v = 100 - \frac{100}{K_v} \quad (11)$$

где:

K_v - объемный коэффициент усадки,

$$K_v = K_h \cdot K_r^2$$

где:

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

K_h – коэффициент усадки по высоте,

$$K_h = \frac{100}{100 - \phi_h} \quad (12)$$

где:

ϕ_h – усадка по высоте, $\phi_h = 0,3\%$;

$$K_h = \frac{100}{99,7} = 1,003;$$

K_r – линейный коэффициент усадки

$$K_r = \frac{100}{100 - \phi_r} \quad (13)$$

где:

ϕ_r – линейная усадка, $\phi_r = 0,4\%$;

$$K_r = \frac{100}{99,6} = 1,004;$$

$$K_v = 1,003 \cdot 1,004^2 = 1,01;$$

$$\phi_v = 100 - \frac{100}{1,01} = 0,99$$

$$V_{np} = 9187,695 \cdot \left(1 - \frac{0,99}{100}\right) = 9096,74 \text{ мм}^3$$

7) Высота прессовки:

$$h_{np} = h_{cn} \cdot \left(\frac{100 - \phi_v}{100}\right) \cdot \left(\frac{100 + \delta}{100}\right) \quad (14)$$

где:

δ – упругие последствия прессовок по размерам, $\delta = 0,3\%$

$$h_{np} = 11,39 \cdot \left(\frac{100 - 0,3}{100}\right) \cdot \left(\frac{100 + 0,3}{100}\right) = 11,39 \text{ мм.}$$

8) Плотность спрессованного изделия:

$$\rho_{np} = \frac{M_{np}}{V_{np}} \quad (15)$$

$$\rho_{np} = \frac{0,062}{9096,74} = 6,822 \text{ г/м}^3.$$

9) Высота слоя порошка в матрице:

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$H = h_{np} \cdot \frac{\rho_{np}}{\rho_0} \quad (16)$$

где:

ρ_0 – средняя насыпная плотность порошков,

$$\rho_0 = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\rho_i}} \quad (17)$$

где:

a_i - содержание отдельных компонентов в шихте, %;

ρ_i – плотность отдельных компонентов, $г/см^3$.

$$\rho_0 = \frac{100}{\frac{98}{2,4} + \frac{2}{1,6}} = 2,38 г/см^3.$$

$$H = 11,39 \cdot \frac{6,82}{2,38} = 32,64 мм.$$

10) Общая высота матрицы:

$$H_M = H + h_H \quad (18)$$

где:

h_H – высота захода нижнего пуансона в матрицу.

$h_H = (7 - 10) мм$;

$H_M = 32,64 + = 40,64 \approx 41 мм$.

2.2 Расчет размеров рабочей полости матрицы

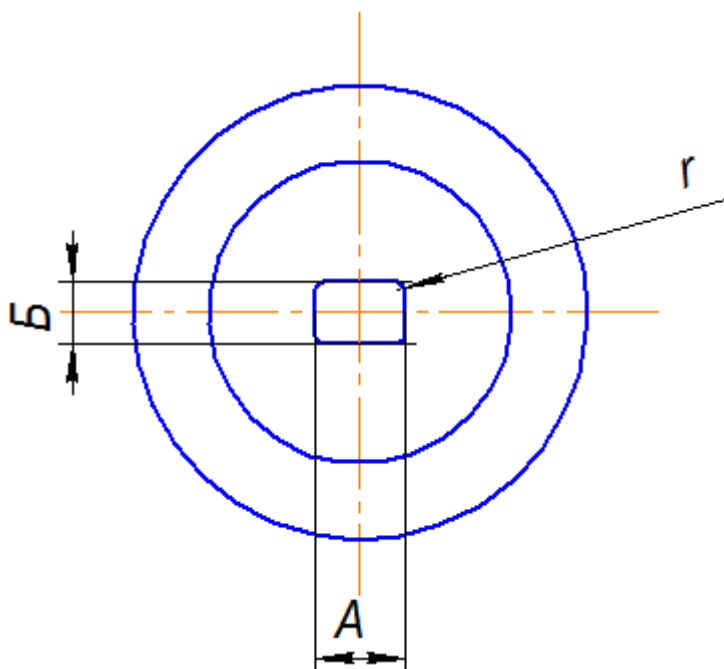


Рисунок 6 – Расчет размеров рабочей полости матрицы.

Размер А (рисунок 6):

1) Минимальный размер изделия после калибрования:

$$A_{\min} = A - \Delta l_A \quad (19)$$

где:

A – номинальный размер изделия;

Δl_A – допуск на размер.

$$A_{\min} = 64 - 0,52 = 63,48 \text{ мм.}$$

2) Размер рабочей полости калибрующей матрицы:

$$A_k = A_{\min}(1 - \omega/100) \quad (20)$$

где;

ω - упругие последствия при калибровании,

$$A_k = 63,48(1 - 0,3/100) = 63,29 \text{ мм.}$$

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

$$A_{\text{сп}} = A_k - \Pi_k \quad (21)$$

где:

P_k – припуск калибрования.

$$P_k = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2} \quad (22)$$

где:

A_{\max} - максимальный припуск калибрования;

A_{\min} – минимальный припуск калибрования.

$$A_{\max} = \Delta h + \Delta a_{\max} + \Delta b \quad (23)$$

где:

Δh – сумма толщины дефектного слоя, обычно $\Delta h = 0,05$ мм для одной стороны сечения;

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

Δa_{\max} - припуск для устранения максимально допустимого искажения формы, т.е. максимального коробления: $\Delta a_{\max} = 0.005b$.

$$A_{\max} = 2 \cdot 0,05 + 0,005 \cdot 64 + 0,008 \cdot 64 = 0,932 \text{ мм.}$$

$$A_{\min} = \Delta h + \Delta a_{\min} \quad (24)$$

где:

Δa_{\min} – припуск на устранение обычного(нормального)искривления формы,

$$\Delta a_{\min} = (1/3 - 1/4) \Delta a_{\max}. \quad (25)$$

$$A_{\min} = 0,1 + 1/3 \cdot 0,932 = 0,41 \text{ мм.}$$

$$P_k = \frac{0,932 + 0,41}{2} = 0,671 \text{ мм.}$$

$$A_{\text{сп}} = 63,29 - 0,671 = 62,62 \text{ мм.}$$

4) Размер спрессованного изделия:

$$A_{\text{нр}} = A_{\text{сп}} \left(1 - \frac{\varphi_k}{100}\right) \quad (26)$$

$$A_{\text{нр}} = 62,62 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 62,37 \text{ мм.}$$

5) Размер рабочей полости матрицы:

$$A_m = A_{\text{нр}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \quad (27)$$

$$A_{np} = 62,37 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 62,18$$

$$A_M = 62,18^{+0,019} \text{ мм.}$$

Размер Б (рисунок 6):

$$1) B_{\min} = 24 - 0,52 = 23,48 \text{ мм.}$$

$$2) B_k = 24,48 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 23,41 \text{ мм.}$$

$$3) B_{\text{сп}} = 23,41 - 0,27 = 23,14 \text{ мм.}$$

$$A_{\max} = 0,05 \cdot 2 + 0,12 + 0,192 = 0,412 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{\max} = 0,005 \cdot 24 = 0,12 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 \cdot 24 = 0,192 \text{ мм;}$$

$$A_{\min} = 0,1 + 0,04 = 0,14 \text{ мм.}$$

$$P_k = \frac{0,41 + 0,14}{2} = 0,27 \text{ мм.}$$

$$4) B_{\text{пр}} = 23,14 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 23,05 \text{ мм.}$$

$$5) B_M = 23,05 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 22,98 \text{ мм.}$$

$$B_M = 22,98^{+0,013} \text{ мм.}$$

Размер r (рисунок 6)

$$1) r_{\min} = 2,5 \text{ мм.}$$

$$2) r_k = 2,58 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 2,49 \text{ мм.}$$

$$3) r_{\text{сп}} = r_k.$$

$$4) r_{\text{пр}} = 2,49 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 2,48 \text{ мм.}$$

$$5) r_M = 2,48 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 2,47 \text{ мм.}$$

$$r_M = 2,47^{+0,006} \text{ мм.}$$

2.3 Определение размеров стержня

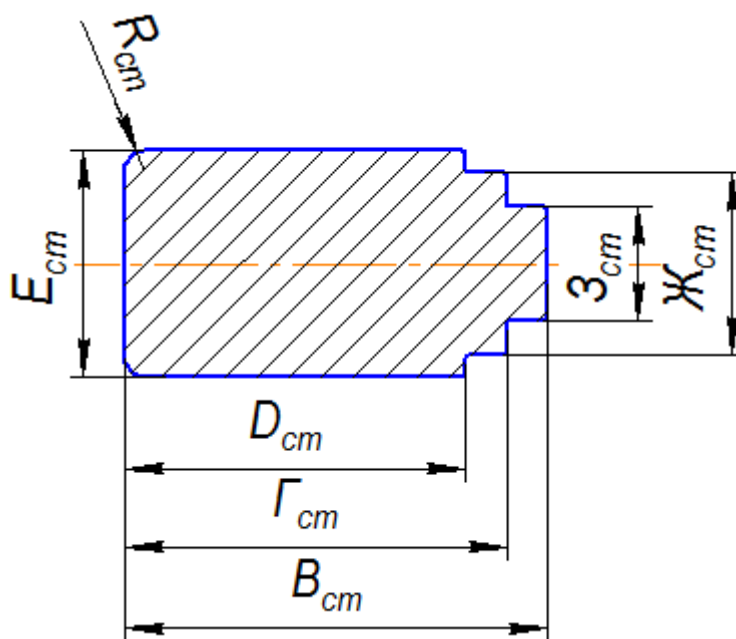


Рисунок 7 – Определение размеров стержня

Размер В (рисунок 7):

1) Максимальный размер стержня после калибрования:

$$B_{\max} = B + \Delta l_b = 49,65 \text{ мм.}$$

2) Размер калибрующего стержня:

$$B_k = B_{\max} (1 - \omega/100) \quad (28)$$

$$B_k = 49,65 * (1 - 0,3/100) = 49,5 \text{ мм.}$$

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

$$B_{\text{сп}} = 49,5 + 0,463 = 49,96 \text{ мм.}$$

$$A_{\max} = 0,05 * 2 + 0,25 + 0,396 = 0,746 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{\max} = 0,005 * 49,65 = 0,25 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 * 49,65 = 0,396 \text{ мм;}$$

$$P_k = \frac{0,746 + 0,18}{2} = 0,463 \text{ мм.}$$

4) Размер отверстия после прессования:

$$B_{\text{пр}} = B_{\text{сп}} \cdot \left(1 - \frac{\varphi_r}{100}\right) \quad (29)$$

$$B_{np} = 49,96 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 49,76 \text{ мм.}$$

5) Рабочий размер стержня в результате упругих последствий:

$$B_{cm} = B_{np} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \quad (30)$$

$$B_{cm} = 49,76 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 49,61 \text{ мм.}$$

$$B_{cr} = 49,61_{-0,016} \text{ мм.}$$

Размер Г (рисунок 7)

$$1) \Gamma_{max} = 41 + 4,5 = 45,5 \text{ мм.}$$

$$2) \Gamma_{\kappa} = 45,5 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 45,36 \text{ мм.}$$

$$3) \Gamma_{cn} = 45,36 + 0,434 = 45,79 \text{ мм.}$$

$$A_{max} = 0,05 \cdot 2 + 0,228 + 0,364 = 0,692 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{max} = 0,005 \cdot 45,5 = 0,228 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 \cdot 45,5 = 0,364 \text{ мм;}$$

$$II_{\kappa} = \frac{0,692 + 0,176}{2} = 0,434 \text{ мм.}$$

$$4) \Gamma_{np} = 45,79 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 45,61 \text{ мм.}$$

$$5) \Gamma_{cm} = 45,61 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 45,47 \text{ мм.}$$

$$\Gamma_{cr} = 45,47_{-0,016} \text{ мм.}$$

Размер Д (рисунок 7):

$$1) D_{max} = 41 \text{ мм.}$$

$$2) D_{\kappa} = 41 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 40,88 \text{ мм.}$$

$$3) D_{cn} = 40,88 + 0,41 = 41,29 \text{ мм.}$$

$$A_{max} = 0,05 \cdot 2 + 0,21 + 0,328 = 0,638 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{max} = 0,005 \cdot 41 = 0,21 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 \cdot 41 = 0,328 \text{ мм;}$$

$$II = \frac{0,638 + 0,17}{2} = 0,41 \text{ мм.}$$

$$4) D_{np} = 41,29 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 41,12 \text{ мм.}$$

$$5) D_{cm} = 40,12 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 39,99 \text{ мм.}$$

$$D_{ст} = 39,99_{-0,016} \text{ мм.}$$

Размер Е (рисунок 7)

$$1) E_{max} = 15 + 0,15 = 15,15 \text{ мм.}$$

$$2) E_{\kappa} = 15,15 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 15,1 \text{ мм.}$$

$$3) E_{сп} = 15,1 + 0,21 = 15,31 \text{ мм.}$$

$$A_{max} = 0,1 + 0,075 + 0,12 = 0,295 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{max} = 0,005 * 15 = 0,075 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 * 15 = 0,12 \text{ мм;}$$

$$A_{min} = 0,1 + 0,025 = 0,125 \text{ мм.}$$

$$П = \frac{0,295 + 0,125}{2} = 0,21 \text{ мм.}$$

$$4) E_{np} = 15,31 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 15,25 \text{ мм.}$$

$$5) E_{cm} = 15,25 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 15,2 \text{ мм.}$$

$$E_{ст} = 15,2_{-0,011} \text{ мм.}$$

Размер Ж (рисунок 7)

$$1) Ж_{max} = 12 + 0,1 = 12,1 \text{ мм.}$$

$$2) Ж_{\kappa} = 12,1 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 12,06 \text{ мм.}$$

$$3) Ж_{сп} = 12,06 + 0,188 = 12,25 \text{ мм.}$$

$$A_{max} = 0,1 + 0,06 + 0,096 = 0,256 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{max} = 0,005 * 12 = 0,06 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 * 12 = 0,096 \text{ мм;}$$

$$A_{min} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ мм.}$$

$$П = \frac{0,256 + 0,12}{2} = 0,188 \text{ мм.}$$

$$4) Z_{np} = 12,25 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 12,2 \text{ мм.}$$

$$5) Z_{cm} = 12,2 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 12,16 \text{ мм.}$$

$$Z_{ст} = 12,16_{-0,011} \text{ мм.}$$

Размер 3 (рисунок 7)

$$1) Z_{max} = 8 + 0,1 = 8,1 \text{ мм}$$

$$2) Z_{\kappa} = 8,1 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 8,08 \text{ мм.}$$

$$3) Z_{cn} = 8,08 + 0,16 = 8,24 \text{ мм.}$$

$$A_{max} = 0,1 + 0,04 + 0,064 = 0,204 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{max} = 0,005 \cdot 8 = 0,04 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 \cdot 8 = 0,064 \text{ мм;}$$

$$A_{min} = 0,1 + 0,013 = 0,113 \text{ мм.}$$

$$П = \frac{0,204 + 0,113}{2} = 0,16 \text{ мм.}$$

$$4) Z_{np} = 8,24 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 8,21 \text{ мм.}$$

$$5) Z_{cm} = 8,21 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 8,19 \text{ мм.}$$

$$Z_{ст} = 8,19_{-0,09} \text{ мм.}$$

Размер R (рисунок 7)

$$1) R_{max} = 1,5 \text{ мм}$$

$$2) R_{\kappa} = 1,5 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 1,496 \text{ мм.}$$

$$3) R_{\kappa} = R_{cm}$$

$$4) R_{np} = 1,49 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 1,48 \text{ мм.}$$

$$5) R_{cm} = 1,49 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 1,486 \text{ мм.}$$

$$R_{ст} = 1,49_{-0,006} \text{ мм.}$$

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

2.4 Определение размеров пуансонов

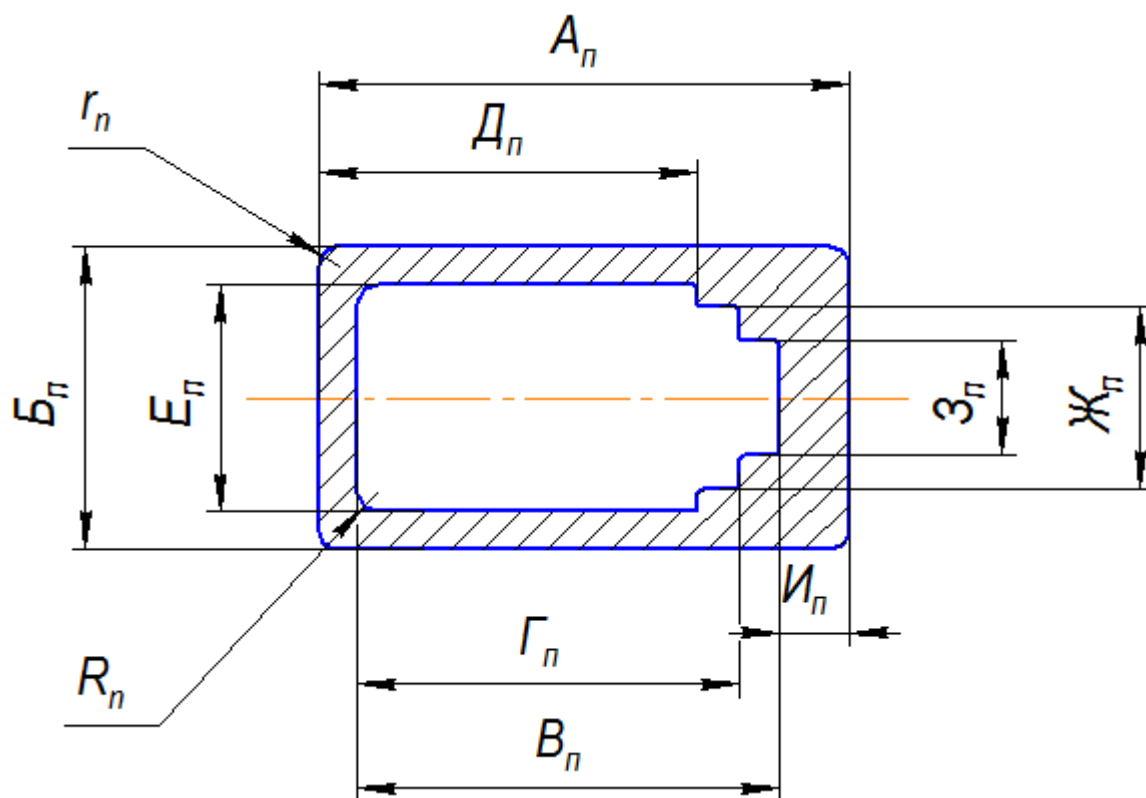


Рисунок 8 – Определение размеров пуансонов

Размеры верхнего пуансона (рисунок 8):

$$A_{п} = 62,13_{-0,0019} \text{ мм};$$

$$B_{п} = 22,94_{-0,013} \text{ мм};$$

$$B_{п} = 49,65^{+0,016} \text{ мм};$$

$$\Gamma_{п} = 45,51^{+0,016} \text{ мм};$$

$$D_{п} = 40,03^{+0,016} \text{ мм};$$

$$E_{п} = 15,23^{+0,011} \text{ мм};$$

$$Ж_{п} = 12,19^{+0,011} \text{ мм};$$

$$З_{п} = 8,22^{+0,009} \text{ мм};$$

$$r_{п} = 2,47_{-0,006} \text{ мм};$$

$$R_{п} = 1,49^{+0,006} \text{ мм};$$

$$И_{п} = 7,05_{-0,009} \text{ мм}.$$

Размер И (рисунок 8):

$$1) И_{\min} = 7,5 - 0,2 = 7,3 \text{ мм};$$

$$2) I_k = 7,3 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 7,28 \text{ мм.}$$

$$3) I_{\text{ср}} = 7,28 - 0,154 = 7,13 \text{ мм;}$$

$$A_{\text{max}} = 0,005 \cdot 2 + 0,0375 + 0,06 = 0,198 \text{ мм.}$$

$$\Delta a_{\text{max}} = 0,005 \cdot 7,5 = 0,0375 \text{ мм;}$$

$$\Delta b = 0,008 \cdot 7,5 = 0,06 \text{ мм;}$$

$$A_{\text{min}} = 0,1 + 0,0125 = 0,13 \text{ мм.}$$

$$I = \frac{0,198 + 0,11}{2} = 0,154 \text{ мм.}$$

$$4) I_{\text{np}} = 7,1 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{100}\right) = 7,1 \text{ мм.}$$

$$5) I_m = 7,1 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{100}\right) = 7,08 \text{ мм.}$$

$$I_M = 7,08^{+0,009} \text{ мм.}$$

Расчет размеров нижнего пуансона аналогичен верхнему.

2.5 Определение наружных размеров матрицы

Матрица – составная ($p > 400$ МПа), рисунок 9.

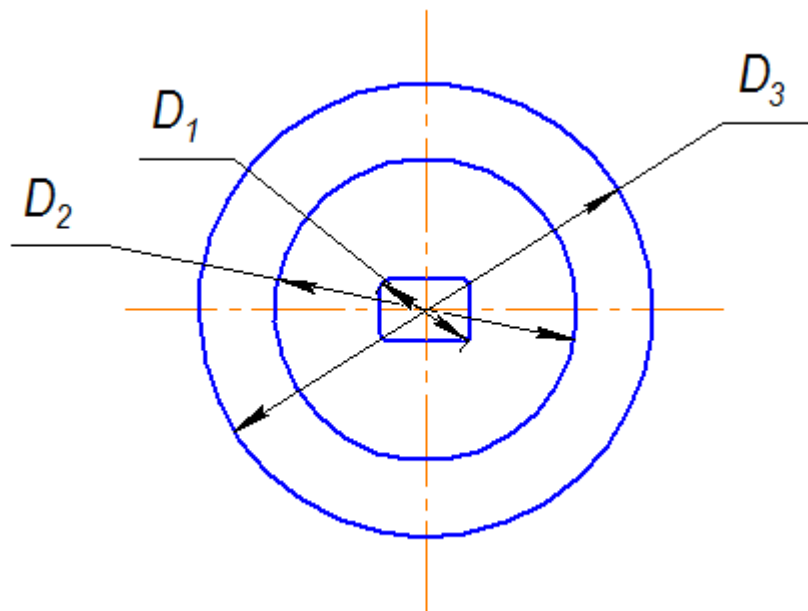


Рисунок 9 – Определение наружных размеров матрицы

Диаметр обоймы определяют по формуле:

$$D_3 = 3,1D_1 \quad (31)$$

$$D_3 = 3,1 \cdot \sqrt{62,18^2 + 23,12^2} = 205,65 \text{ мм}$$

Диаметр вставки определяют по формуле:

$$D_2 = \sqrt{D_1 \cdot D_2} \quad (32)$$

$$D_2 = \sqrt{205,65 \cdot 66,34} = 116,8 \text{ мм}$$

Величину натяга определяют по формуле:

$$\delta = 1,1 \cdot 10^{-2} r_1 \quad (33)$$

$$\delta = 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 33,17 = 0,36 \text{ мм.}$$

2.6 Определение усилия прессования и усилия выталкивания

Определяем относительную плотность прессовки:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_{np}}{\rho_k} \quad (34)$$

$$\bar{\rho} = \frac{6,82}{7,86} = 0,86$$

$$\rho_{kcp} = \frac{100}{\frac{98}{7,85} + \frac{2}{8,3}} = 7,862 / \text{м}^3$$

Определяем относительную насыпную плотность порошка:

$$\bar{\rho}_0 = \frac{\rho_0}{\rho_k} \quad (35)$$

где:

ρ_k – средняя плотность компактного материала, г/м^3

$$\bar{\rho}_0 = \frac{2,38}{7,86} = 0,32$$

Определяем показатель прессования:

$$Ж = 2 + \frac{\bar{\rho}_{np}}{\bar{\rho}_{np} - \bar{\rho}_0} = 2 + \frac{0,86}{0,86 - 0,32} = 3,59$$

Определяем удельное давление прессования:

$$p = p_{\max} \cdot \bar{\rho}_{np}^{Ж} \quad (36)$$

где:

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

p_{\max} – удельное давление прессования, необходимое для получения беспористого тела, МПа.

$$p_{\max} = 1330 \text{ МПа};$$

$$p = 1330 * 0,86^{3,59} = 740,9 \text{ МПа};$$

определяем усилия прессования:

$$P = pFq$$

где:

F – площадь поперечного сечения рабочей полости матрицы, мм²;

q – количество одновременно прессуемых деталей в пресс-форме; $q = 1$.

$$F = 1437,6 - 706,2 = 731,4 \text{ мм}^2$$

$$P = 740,9 * 731,4 * 1 = 541894,26 \text{ Н.}$$

Определяем усилие прессы:

$$P_{\text{пр}} = 1,5P = 1,5 * 541894,26 = 812,84 \text{ кН.}$$

2.7 Определение массы навески порошка

Навеска порошка для получения прессовок заданной плотности рассчитывается по формуле[3]:

$$M = V \bar{\rho} \rho_k K_1 K_2 / 1000 = M_{\Gamma} K_1 K_2 \quad (37)$$

K_1 – коэффициент, учитывающий потери порошка при прессовании, составляющий 1,005 – 1,01;

K_2 – коэффициент, учитывающий потери массы детали при спекании в результате восстановления окислов и выгорания примесей, составляющий 1,01 – 1,03.

$$M = 61,0 * 1,005 * 1,02 = 62,53 \text{ г.}$$

2.8 Прочностные расчеты пуансонов

При расчете пуансонов на прочность, их необходимо рассчитать на смятие.

$$\sigma_{см} = \frac{P}{S_{I-I}} \quad (38)$$

где:

S_{I-I} – площадь опасного сечения пуансона (рисунок 10)

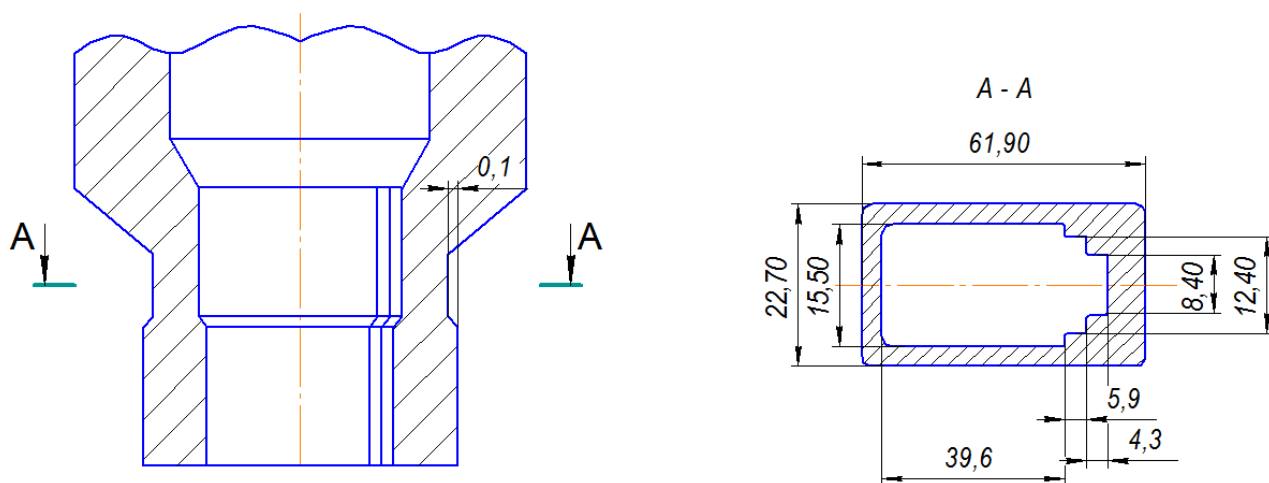


Рисунок 10 – Определение площади опасного сечения пуансона

Рассчитываем на смятие верхний пуансон:

$$S_{I-I} = S - (S_1 + S_2 + S_3) \quad (39)$$

$$S_{I-I} = 22,74 * 61,93 - (15,43 * 39,63 + 12,39 * 5,98 + 8,42 * 4,24) = 1408,29 - (611,49 + 74,09 + 35,7) = 687,01 \text{ мм}^2$$

$$\sigma_{см} = 541894,26 / 687,01 = 788,77 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{см} < [\sigma_{см}]$$

$$[\sigma_{см}] = 1600 - 1900 \text{ МПа.}$$

Рассчитывают максимальную длину свободной части пуансона по формуле:

$$l_n = \pi \left(\frac{2EJ_n}{n_n P} \right)^{1/2} \quad (40)$$

где:

n_n – коэффициент безопасности, $n_n = 2 - 3$;

E – модуль упругости, $E = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

J – момент инерции наименьшего сечения пуансона;

P – усилие прессования, мН

Определяем момент инерции пуансона (рисунок 11):

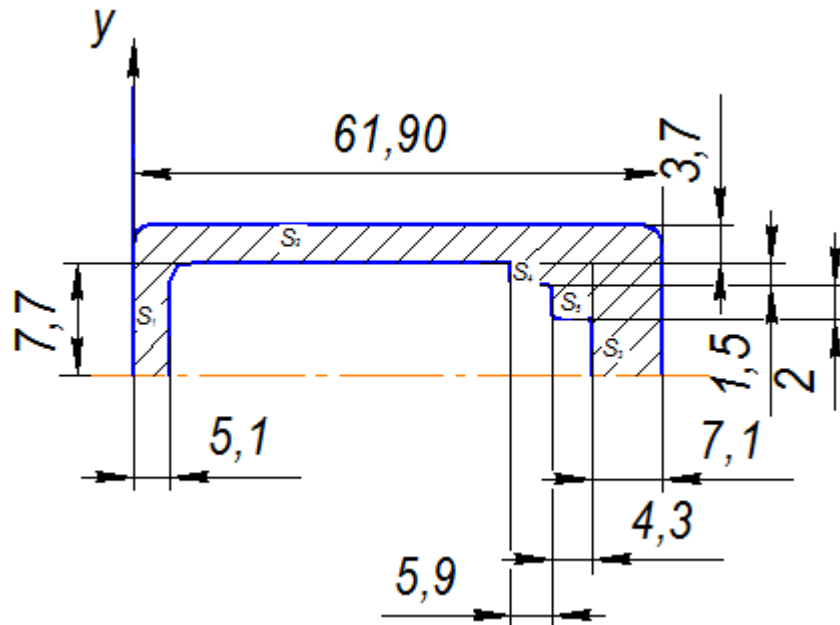


Рисунок 11 – Определение момента инерции пуансона

$$J_y = \frac{hb^3}{12} \quad (41)$$

$$J_{y1} = \frac{7,71 \cdot 5,03^3}{12} = 1,77 \text{ мм}^4$$

$$J_{y2} = \frac{3,66 \cdot 61,93^3}{12} = 72444,11 \text{ мм}^4$$

$$J_{y3} = \frac{7,71 \cdot 7,05^3}{12} = 225,13 \text{ мм}^4$$

$$J_{y4} = \frac{1,5 \cdot 10,22^3}{12} = 133,43 \text{ мм}^4$$

$$J_{y5} = \frac{2 \cdot 4,24^3}{12} = 12,7 \text{ мм}^4$$

$$x_c = \frac{\sum F_i x_i}{\sum F} \quad (42)$$

$$x_c = \frac{38,78 \cdot 2,5 + 226,66 \cdot 30,97 + 54,36 \cdot 58,41 + 15,33 \cdot 49,77 + 8,48 \cdot 52,76}{343,61} = 33,47 \text{ мм.}$$

$$J = 2 \sum J_i = b_i^2 \cdot F_i \quad (43)$$

$$J = 2 \cdot (81,77 + 30,97^2 \cdot 38,78 + 72444,11 + 2,5^2 \cdot 226,66 + 225,13 + 24,94^2 \cdot 54,36 + 133,43 + 16,3^2 \cdot 15,33 + 19,29^2 \cdot 8,48) = 152549,84 \text{ мм}^4$$

$$l_n = 3,14 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot 152549,84 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 541894,26 \cdot 10^{-6}}} = 605 \text{ мм.}$$

Нижний пуансон рассчитывают аналогично.

2.9 Выбор материалов инструмента

Изготовление рабочего инструмента является очень сложным и трудоемким процессом, требующим применения разнообразных станков, специального инструмента, больших затрат квалифицированного труда [9].

Инструмент для прессования изделия должен обеспечивать точность размеров изделий, обладать высокой точностью. Чтобы противостоять весьма высоким напряжениям, возникающим при прессовании, обладать высокой гибкостью во избежание деформации, приводящей к трещинообразованию в прессовках и повышенному износу инструмента, иметь высокую поверхностную твердость, чтобы противостоять износу, иметь минимальные допуски на формообразующие размеры, иметь высокую чистоту поверхности, обеспечивать высоту производительности, быть долговечным в работе.

Основные детали пресс-формы: пуансон, стержень, составная матрица.

При конструировании пуансона следует максимально сокращать их длину, так как они подвергаются действию сминающей нагрузки. Сокращение длины пуансона обеспечит их устойчивость и жесткость.

Рабочие пояски пуансонов обеспечивают центрирование пуансонов по матрице и стержню, обеспечивают хорошее заполнение полости матрицы порошком во время засыпки, потому их подвергают и деформируют с минимально необходимым зазором между ними и матрицей.

Рабочий поясок пуансона (верхнего) делают (15 – 20) мм, как наружи так и внутри. Это делается для подшлифовки в случае необходимости рабочего торца пуансона, так как в процессе прессования рабочая острая кромка

пуансона затупляется, что приводит к искажению формы прессуемого изделия.

Рабочий поясок пуансона (нижнего) делают минимально необходимым.

В качестве материала для пуансона используется сталь ХВГ ГОСТ 5950 – 73, твердостью HRC 54...58

Режим термообработки:

Подогрев при $t = 650...700$ °С;

Закалка при $t = 830...850$ °С;

Отпуск при $t = 200...300$ °С; воздух [10].

В качестве материала для стержня используется сталь ХВГ ГОСТ 5950 – 73, твердостью HRC 62...64, глубиной 0,3...0,5 мм.

Режим термообработки:

Закалка при $t = 830...850$ °С; масло;

Отпуск при $t = 500...600$ °С.

В качестве материала для обоймы матрицы используется сталь 45 ГОСТ 1050 – 88, твердостью HRC 42...44.

Режим термообработки:

Закалка при $t = 840$ °С; вода

Отпуск при $t = 400$ °С.

В качестве материала для вставки матрицы используется твердосплавный сплав ВК15 ГОСТ 3882 – 74, твердостью HRA 86.

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

3 ИЗНОС ПРЕСС-ФОРМ

3.1 Литературный обзор

Основными причинами выхода пресс-форм из строя являются термическая усталость, износ и изменение формы и размеров формообразующих элементов[12].

Износ поверхностей формообразующих деталей происходит в результате трения о них обрабатываемого материала, их коррозии от высокой температуры и взаимодействия с химически активными элементами, содержащимися в обрабатываемом материале. В результате этого износа ухудшается качество поверхности изделия, увеличивается его шероховатость, изменяются размеры.

В процессе эксплуатации пресс-формы в ее многочисленных стыках происходят смятия материала. Такие дефекты появляются в стыках матрица — стержень, матрица — выталкиватель и др. (рис. 12). Они приводят к появлению на изделии облоя, удаление которого непроизводительно и трудоемко, а также ухудшает качество изделия.

При работе пресс-формы происходит постепенное смятие, коробление и изменение формы стержней, выталкивателей, участвующих в оформлении изделия.

Очень часто пресс-форма выходит из строя из-за налипания и привара материала к формообразующим поверхностям, возникновению на них вмятин.

Указанные многочисленные дефекты делают невозможным дальнейшую эксплуатацию пресс-формы и требуют ее ремонта. Кроме перечисленных дефектов, обусловленных износом пресс-формы, в практике имеются случаи выхода ее из строя вследствие небрежного или неумелого обращения с ней.

В зависимости от степени сложности различают ремонт пресс-форм профилактический, средний, капитальный и аварийный. Первые три вида ремонта являются плановыми.

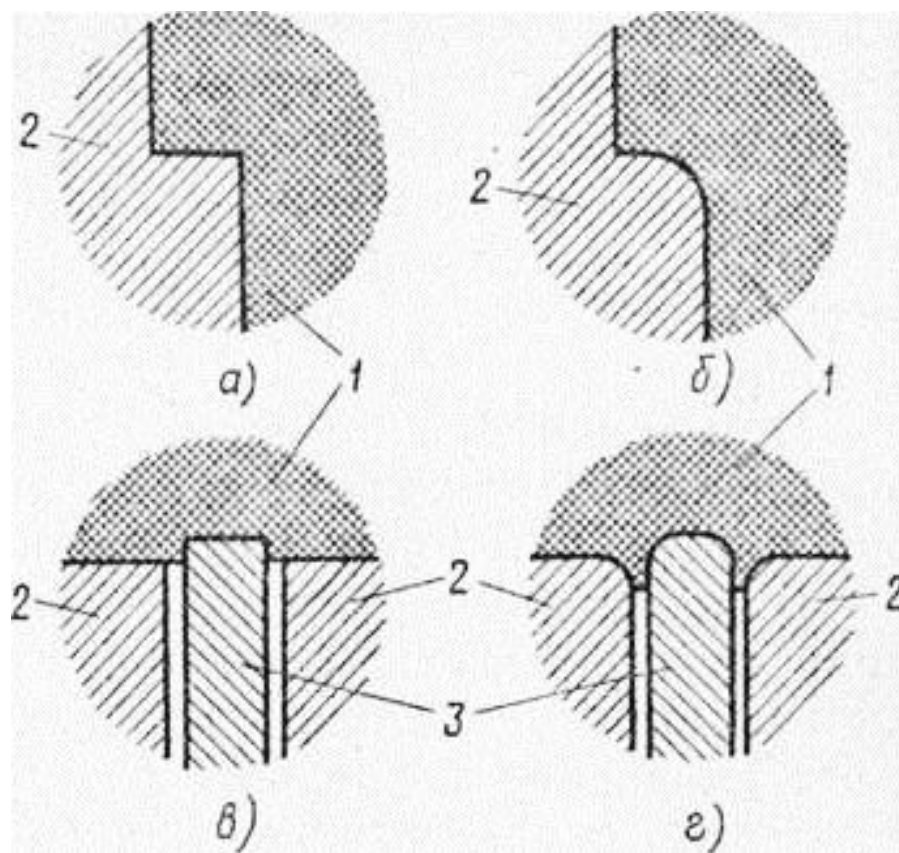


Рисунок 12 - Формообразующая полость новой (а и в) и изношенной (б и г) пресс-форм: 1 — материал изделия, 2 — пресс-форма, 3 — стержень

3.2 Способы восстановления пресс-форм

Самыми эффективными способами восстановления пресс-форм является наплавка и напыление.

3.2.1 Лазерная наплавка

Наплавка – это процесс нанесения порошкового материала на поверхность изделия, нагретую до оплавления. Наплавленный материал образует одно целое с основным металлом, связан весьма прочно и надежно. Путем наплавки можно получать непосредственно на рабочей поверхности изделия сплав, обладающий желательным комплексом свойств, - износостойкий, кислотоупорный, жаростойкий и т. п. Вес наплавленного металла не превышает нескольких процентов от веса изделия.[13]

При восстановлении, ремонте наплавку выполняют примерно тем же материалом, из которого изготовлено изделие, однако такое решение не всегда целесообразно. Иногда при изготовлении новых деталей (и даже при ремонте) целесообразней на поверхности получить металл, отличающийся от металла детали. Действительно, в ряде случаев условия эксплуатации поверхностных слоев значительно отличаются от условий эксплуатации всего остального материала изделия. Так, например, если деталь (изделие) должна определять общую прочность, которая зависит от свойств металла и его сечения, то поверхностные слои часто дополнительно должны работать на абразивный или абразивно-ударный износ (направляющие станин, зубья ковшей землеройных орудий, желоба валков канатно-подъемных устройств и др.). Условия работы могут усложняться повышенной температурой, эрозивно-коррозионным воздействием окружающей среды (морской воды, различных реагентов в химических производствах и др.). В качестве примера можно указать клапаны двигателей, уплотнительные поверхности задвижек, поверхности валков горячей прокатки и т.п. Иногда такие детали и изделия целиком изготавливают из металла, который обеспечивает и требования к экс-

плуатационной надежности работы его поверхностей. Однако это не всегда наилучшее и, как правило, не экономичное решение. Часто оказывается целесообразней все изделие изготавливать из более дешевого и достаточно работоспособного металла для конкретных условий эксплуатации и только на поверхностях, работающих в особых условиях, иметь необходимый по толщине слой другого материала. Иногда это достигается применением биметаллов (низкоуглеродистая сталь + коррозионно-стойкая сталь; сталь + титан и др.), а также поверхностным упрочнением (поверхностной закалкой, электроискровой обработкой и др.), нанесением тонких поверхностных слоев (металлизацией, напылением и пр.) или наплавкой слоев значительной толщины на поверхность.[14]

Способы наплавки, как и способы сварки, классифицируются по трем группам признаков (ГОСТ 19521—74): физическим, техническим и технологическим.[13]

По физическому признаку (используемый источник нагрева) основные способы наплавки можно разделить на три группы:

- термические (дуговая, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая, световая, индукционная, газовая, печная, лазерная);
- термомеханические (контактная, прокаткой, экструдированием);
- механические (взрывом, трением).

Большинство из этих способов в свою очередь могут подразделяться по техническим (способ защиты металла в зоне наплавки, степень механизации наплавки, непрерывность процесса наплавки) и технологическим (по роду тока, по количеству электродов, по наличию внешнего воздействия и т.п.) признакам.

Способ наплавки	Производительность, кг/ч	Доля основного металла, %	Толщина наплавленного слоя, мм
Газовая с присадкой прутков или проволоки	0,5—1,5	1	0,8—5,0
Газопорошковая	0,5—3,0	1	0,3—3,0
Аргоно-дуговая неплавящимся электродом	1,0—7,0	10—30	2,5—5,0
Плавящимся электродом в защитном газе	1,5—9,0	30—60	3,0—5,0
Ручная дуговая, покрытыми электродами	0,8—3,0	20—50	2,0—5,0
Под флюсом одной проволокой	2—12	30—60	3,0—5,0
Под флюсом многоэлектродная	5—40	15—30	5,0—8,0
Под флюсом лентой	5—40	10—20	2,5—5,0
Дуговая самозащитной проволокой	2—9	25—50	2,5—5,0
Дуговая самозащитной лентой	10—20	15—40	2,5—5,0
Электрошлаковая двумя электродными лентами	10—60	5—15	1,5—5,0
Электрошлаковая электродными проволоками	20—60	10—20	6,0—50
Электрошлаковая зернистым присадочным материалом	20—200	5—10	15,0—50
Плазменная порошком	0,8—6,0	5—15	0,3—6,0
Индукционная	2—15	5—15	0,4—3,0

autowelding.ru

Рисунок 13 – Способы наплавки

Ручную дуговую наплавку применяют при восстановлении изношенных поверхностей, восстановлении брака литья и для наплавки поверхностей со специальными свойствами.

Ручную дуговую наплавку выполняют покрытым плавящимся и неплавящимся электродами. Перед наплавкой плавящимся электродом поверхность детали должна быть тщательно зачищена, после чего приступают к наплавке металла отдельными валиками. При этом каждый последующий валик должен расплавлять предыдущий на 1/3—1/2 ширины. Электроды выбирают, исходя из условий эксплуатации наплавленной поверхности.

Порошковые смеси наплавляют угольным (графитовым) электродом постоянным током прямой полярности. На очищенную от загрязнений поверхность насыпают тонкий слой флюса (0,2—0,3 мм), чаще всего прокаленную буру, затем слой шихты высотой 3—5 мм и шириной 20—60 мм. Дугу

возбуждают на основном металле, затем переносят на шихту, шихта расплавляется с минимальным проплавлением основного металла.

Автоматическую наплавку под флюсом производят проволоками сплошного сечения и порошковыми. Наплавку можно выполнять одним электродом отдельными валиками, одновременно несколькими электродами и электродной лентой. Используют ленты сплошного сечения и порошковые.

Наплавка плавящимся и неплавящимся электродом в среде защитных газов. Наплавку вольфрамовым электродом проводят в среде аргона. Необходимые свойства наплавленного металла обеспечиваются применением присадочных проволок специального состава или вдуванием легирующих порошков в зону дуги.

Можно производить наплавку в инертных газах и плавящимся электродом. Однако применение той же технологии, что и для сварки, ведет к повышенному содержанию основного металла в наплавке. Поэтому используют дополнительную присадочную проволоку. Этот способ широко используют при наплавке высоколегированных хромоникелевых сталей и сплавов.

Плазменная наплавка осуществляется несколькими способами: – плазмой прямого действия с подачей присадочной наплавочной проволоки; – с подачей присадочного порошка в плазменную струю; – по слою легирующего материала, нанесенного на поверхность изделия; – с токоведущей присадочной проволокой; – с двумя плавящимися электродами.

Электрошлаковая наплавка производится на плоские и цилиндрические поверхности для создания поверхностных слоев с особыми свойствами и для создания промежуточных слоев на кромках заготовок для последующей сварки. Техника электрошлаковой наплавки принципиально не отличается от техники сварки.

Вибродуговую наплавку применяют в основном как средство восстановления быстроизнашивающихся деталей станочного, металлургического, сельскохозяйственного оборудования. Этому виду наплавки могут подвер-

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

гаться детали диаметром 8— 10 мм и выше. Сущность вибродуговой наплавки заключается в том, что наплавку осуществляют с помощью специальной головки, обеспечивающей подачу и вибрацию электродной проволоки. Вибрация электрода облегчает возбуждение дуги и повышает стабильность процесса. При наплавке электрические разряды чередуются с короткими замыканиями. В зону наплавки и дуги подается щелочная эмульсия, в некоторой степени защищающая металл от воздействия воздуха в процессе наплавки и охлаждающая детали, в связи с чем уменьшаются зона термического влияния и сварочные деформации и повышается твердость наплавленного слоя.

Наплавку газокислородным пламенем применяют редко из-за относительно больших деформаций наплаваемых деталей. Газокислородное пламя используют главным образом для наплавки литыми твердыми сплавами.

На сегодняшний день самым современным и выгодным способом наплавки является лазерная наплавка.

Лазерная наплавка — высокоэнергетическая и высокопроизводительная технология, при которой наплавочный (присадочный) материал тем или иным способом депонирован на поверхности образца или детали и затем оплавлен лазерным излучением высокой мощности. Лазерная наплавка — процесс, идеально подходящий как для создания совершенно новой поверхности, так и восстановления поврежденных или изношенных поверхностей. Технология позволяет получить 100 % неметаллургическое соединение при минимальном оплавлении основы и благодаря своим достоинствам ее применяют во многих отраслях промышленности, в том числе аэрокосмической, автомобильной, судовой, нефтегазовой, транспортной, энергетической и др.[15]

При традиционных видах наплавки, таких как электродуговая и плазменная присадочной проволокой, подплавление основного металла и термическое воздействие на него значительны, что является существенным недостатком, так как все технологии стремятся к минимальному тепловому воз-

действию и минимальному перемешиванию основного материала с присадочным. Лазерная наплавка заключается в локальной подаче присадочного материала и кратковременном расплавлении материала основы. Высокая степень автоматизации управления процессом позволяет регулировать не только размеры расплавленных зон, но и термические циклы процесса.

Выделяют 3 основных способа создания покрытий лазерной наплавкой.

Создание покрытий оплавлением предварительно нанесенных порошков (рис.14). Состав шликера подбирают таким образом, чтобы он минимально влиял на состав будущего покрытия. Нанесенную на поверхность заготовки пасту оплавляют лазерным лучом, последовательно сканируя всю поверхность. Для создания многослойного покрытия необходимо наносить слой шликера заново после каждого прохода. Преимуществом метода является простота технологии и легкость конструкции необходимого оборудования, основные недостатки – высокая трудоемкость процесса и неравномерность покрытия по причине сил поверхностного натяжения жидкого металла.



Рисунок 14 – Схема нанесения покрытий оплавлением предварительно нанесенного порошка

Создание покрытий с помощью боковой подачи газопорошковой смеси – наиболее распространенный до недавнего времени способ лазерной наплавки (рис. 15). Впрыск порошка в жидкую ванну качественно изменяет процесс наплавки, позволяя создавать как равномерные по толщине и хими-

ческому составу покрытия, так и композитные материалы с сохранением упрочняющей фазы. Подача газопорошковой струи может осуществляться как сбоку относительно движения луча, так и навстречу. При этом формируемые валики будут иметь различную геометрию. Недостатком метода является несимметричность подачи порошка относительно направления движения даже при создании покрытий сканированием лазерного луча в плоскости.

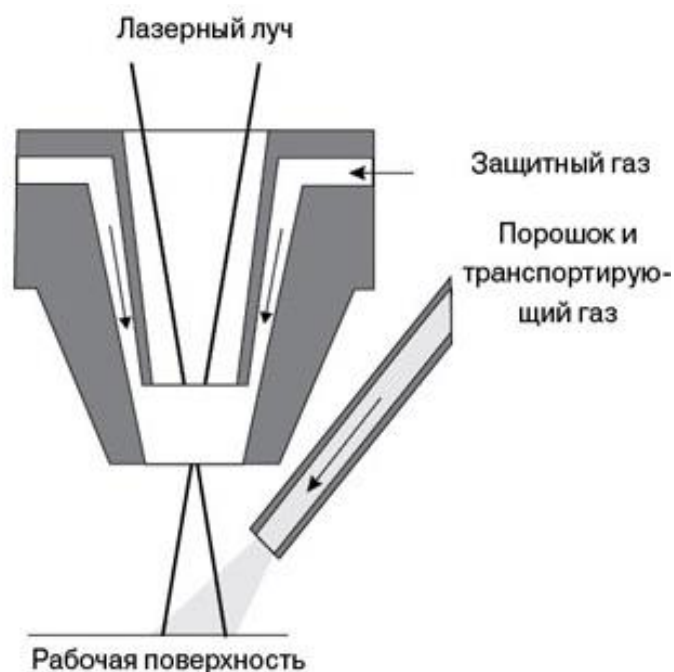


Рисунок 15 – Схема наплавки с боковой подачей порошка

При коаксиальной наплавке (рис. 16) газопорошковый поток подается в зону воздействия лазерного излучения симметрично со всех сторон – сжимающимся в фокус конусом. Формирование такого симметричного равномерного конуса порошка – главная сложность данного метода. Коаксиальная наплавка – наиболее универсальный способ создания как однородных, так и композитных покрытий на плоских и трехмерных поверхностях. Процесс обеспечивает симметричность относительно направления наплавки, равномерность формирования валиков, высокие производительность и коэффициент использования присадочного материала в общем случае обработки сложных поверхностей. Сложность коаксиальной подачи газопорошковой смеси является, пожалуй, главным недостатком системы коаксиальной наплавки.

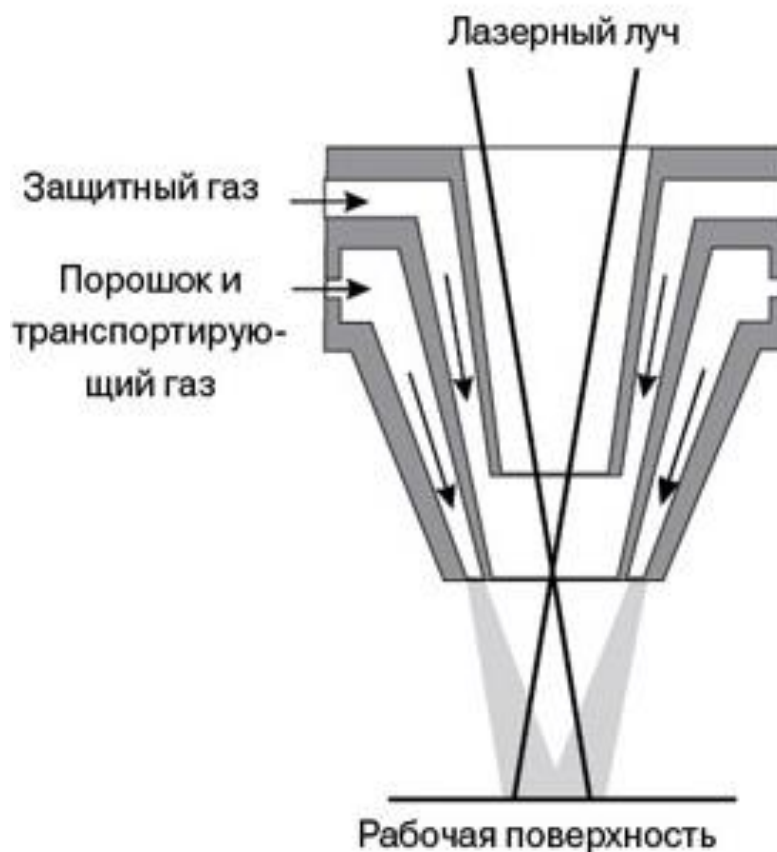


Рисунок 16 – Схема наплавки с коаксиальной подачей порошка

Необходимость разработки и создания покрытий с повышенными свойствами возникает в различных областях современного машиностроения все чаще. В целях экономии металла, используемого при производстве деталей, и снижения масс конструкций разрабатываются сплавы и покрытия, выполняющие строго определенные функции. Функциональные покрытия, в таком случае, - попытка инженеров максимально оптимизировать конструкцию, но уже не на уровне механики, а на более высоком уровне, учитывающем все внешние факторы, действующие на каждую деталь механизма в отдельности. Для предания поверхности требуемых технологических свойств качестве наплавляемых материалов целесообразно использовать композиционные материалы.

Композиционные материалы (КМ) – это материалы, образованные объемным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними. КМ характеризуются свойствами, которыми не облада-

ет ни один из компонентов, взятый в отдельности. Основные направления использования КМ в производстве – создание покрытий с повышенными свойствами:

- механическими;
- коррозионностойкими;
- жаростойкими;
- антифрикционными;
- износостойкими;
- радиационно-стойкими;
- и т.п.

Для создания композиционных покрытий методами наплавки можно использовать как чистые, так и композитные порошки, представляющие собой смеси определенного состава в каждой частице порошка. Композиционные составы, в соответствии с воспринимаемыми нагрузками, могут иметь различные архитектуры:

- твердые частицы в мягкой матрице для упрочнения поверхности;
- мягкие антифрикционные частицы в твердой матрице для повышения износостойкости;
- высокопрочные каркас, заполненный пластичным материалом – износостойкость совместно с контактной прочностью;
- равномерная смесь легких прочных частиц с тяжелыми каркасообразующими – для снижения удельной массы при сохранении прочности.

В настоящее время среди наиболее актуальных применений коаксиальной лазерной наплавки – восстановление изношенной или поврежденной геометрии металлических деталей машиностроительного производства. При ремонте крупногабаритных деталей сложной геометрии: валов, пресс-форм, литейных форм, инструмента и других деталей, коаксиальная наплавка поз-

воляет сэкономить значительные средства благодаря экономии материала, времени на обработку и оборудования, задействованного в ремонте.

Плотность и прочность нанесенного при ремонте слоя не уступает основному материалу, а при специальном подборе присадочного порошка превышает ее значительно, что положительно сказывается на ресурсе работы восстановленной детали.

Спектр применений лазерной наплавки в производстве и ремонте расширяется постоянно благодаря широкой номенклатуре лазерных источников и порошковых материалов. Именно поэтому развивающееся машиностроение крупнейших стран применяет лазерную наплавку все чаще.

3.2.2 Холодное газодинамическое напыление

Существует еще один способ восстановления и создания требуемых свойств покрытия – Холодное газодинамическое напыление.

Среди 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. Все технологии напыления можно разделить на две группы: газотермическое напыление и вакуумно-конденсационное напыление. В рамках данного исследования нас интересует первая группа. Особенностью методов газотермического напыления (ГТН) является то, что получаемое покрытие формируется из направленного потока дисперсных частиц со средним размером 10-200 мкм. 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), соединённых контактными участками. [16]

Методы напыления различают в зависимости от движущих сил переноса и источника теплоты: плазменное, детонационное, газопламенное, дуговая

металлизация и высокочастотная металлизация. В первых трех методах источник нагрева совмещен с источником напыления и ускорения частиц. В данном исследовании был рассмотрен метод газотермического напыления, как наиболее подходящий для ремонта пресс-форм. [16]

Общим для всех газотермических методов является то, что материал покрытия нагревается и ускоряется в высокотемпературном газовом потоке. На поверхность подложки напыляемый материал поступает в виде мелких расплавленных или пластифицированных частиц, которые, ударяясь об нее, деформируются и, закрепляясь, образуют сплошное покрытие. [17]

Одним из широко развитых высокоскоростных методов является детонационно-газовый метод нанесения покрытий. Покрытия, полученные данным методом, успешно используются для упрочнения нагруженных поверхностей деталей, изготовленных из самых разнообразных материалов. Такие покрытия отличаются высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами (плотностью, прочностью, теплостойкостью и пр.). Однако, детонационному напылению свойственны и недостатки, связанные, в частности, с использованием взрывоопасных смесей типа ацетилен-кислород, импульсивными режимами работы (покрытия наносятся не непрерывно, а частыми выстрелами) и с возможностью нанесения покрытий только на те материалы, в которых не возникает остаточная деформация при воздействии взрывной волны. Так же к недостаткам метода можно отнести высокую стоимость оборудования и повышенные требования к технике безопасности (высокий уровень шума, взрывоопасность и т.д.). [17]

Наиболее перспективным методом, позволяющим снизить воздействие высоких температур потока частиц является метод холодного газодинамического напыления (ХГН). Данный метод основан на эффекте образования прочного металлического слоя при набегании сверхзвукового двухфазного потока частиц на поверхность подложки за счет образования адгезионных связей между деформированной частицей и подложкой. [18,19]

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

Метод «холодного» газодинамического напыления – ХГН позволяет решить важную проблему термического влияния принципиально иным путем, используя в качестве основной не тепловую, а кинетическую энергию направляемых частиц, ускоряемых холодным газом, и тем самым нивелировать негативные высокотемпературные эффекты. [16]

Сущность метода холодного газодинамического напыления металла включает в себя формирование в сопле сверхзвукового газового потока, подачу в этот поток порошкового материала с размерами частиц 0,01-50 мкм, его сверхзвуковое ускорение в сопле и направление частиц порошка на поверхность изделия. Ускорение частиц возможно в среде холодных или подогретых газов, таких как: воздух, гелий, азот. Значения температуры существенно ниже температуры плавления материала порошка ($0,4-0,7T_{пл}$). Технология холодного газодинамического напыления позволяет наносить металлические покрытия не только на металлы, но и на стекло, керамику, камень, бетон. Покрытия, нанесенные этим методом, механически прочны и имеют высокую адгезию к подложке. [20]

Отличительная особенность технологии ХГН (рис. 17) (в сравнении с плазменной, газоплазменной, детонационной) состоит в том, что основным энергетическим источником формирования покрытий является кинетическая энергия напыляемых частиц, сообщаемая им сверхзвуковым потоком рабочего газа. Это обеспечивает получение покрытий с минимальными температурными напряжениями без сквозных пор и микротрещин и обуславливает высокие электропроводящие, антикоррозийные и прочностные (адгезионно-когезионные) свойства. [16]

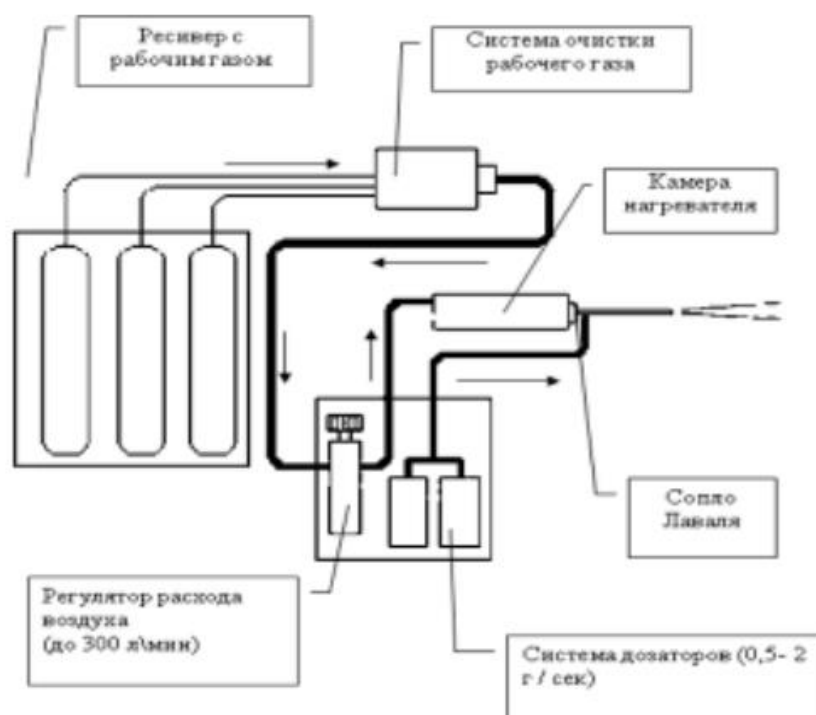


Рисунок 17 – Принципиальная схема установки ХГДН

К преимуществам метода относят [21-27]:

1. Возможность использования порошков с размером менее 30-50 мкм, в том числе ультрадисперсных, что приводит к улучшению качества покрытия: увеличивается его плотность, уменьшается объем микропустот. структура становится более однородной. появляется возможность уменьшить толщину покрытия;
2. Отсутствие существенного нагрева частиц и связанных с ним процессов высокотемпературного окисления, фазовых переходов, что позволяет получать покрытия со свойствами, близкими к свойствам материала исходных частиц, а также композиционные покрытия из механической смеси порошков, значительно различающихся по физико-термическим свойствам;
3. Отсутствие существенного термического воздействия на обрабатываемое изделие, что позволяет наносить покрытия на подложке из нетермостойких материалов;

4. Простота технической реализации и улучшение безопасности работ в связи с отсутствием высокотемпературных струй.

Основными параметрами процесса напыления являются: скорость и температура потока, концентрация порошка в потоке (расход порошкового материала). К настоящему времени данных по связи температурно-скоростных параметров процесса и физико-механических характеристик получаемого напыленного слоя, которые можно применить к серийно выпускаемым установкам, достаточно мало. В основном, это данные относящиеся к лабораторным, экспериментальным установкам, а также результаты теоретических расчетов [18,19].

На сегодняшний день имеется ряд материаловедческих и технологических решений по получению функциональных покрытий методом ХГН с использованием порошковых смесей на основе пластичных и твердых материалов, которые либо готовятся предварительно [28], либо формируются непосредственно в газовом потоке [29]. К сожалению, структура таких покрытий, как правило, из-за образования агломератов неравномерна, что ведет к снижению когезионной и адгезионной прочности. Применение композиционных порошков может решить эту проблему [30].

Известны отечественные предприятия, занимающиеся как изучением, так и применением технологии ХГДН, среди них: ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ОЦПН, ИТПМ, МГАУ им. Горячкина, Рязанский ВАИ, ГКНПЦ им. Хруничева, Центр судоремонта «Звездочка», ВИАМ и целый ряд других. Из зарубежных предприятий наиболее широко метод ХГДН используют в США, выполняя заказы в соответствии со стандартом MIL-STD-3021 от 04.08.2008 «MATERIALS DEPOSITION, COLD SPRAY». Это такие американские компании как Ktech, ASB Industries, Army Research Lab, Inovati, а также и фирмы других стран: Windsor University (Канада), Helmut Schmidt University (Германия), CSIRO (Австралия). Ecole de Mines (Франция), Tampere University of Technology (Финляндия).

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

Учитывая преимущества и специфику метода ХГДН, основными направлениями исследований и разработок указанных предприятий является, во-первых, нанесение покрытий для повышения эксплуатационных характеристик изделий, а во-вторых, проведение ремонтно-восстановительных работ, как на специализированных площадках предприятия, так и в походных или полевых условиях.

Рассмотрим два метода упрочнения – лазерную наплавку и ХГН при помощи серий экспериментов.

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

4.1 Выбор способа наплавки

Из рассмотренных способов создания покрытия лазерной наплавки, для нас наибольший интерес представляет коаксиальный способ. Именно он будет использоваться в предлагаемых экспериментах (рис. 18).

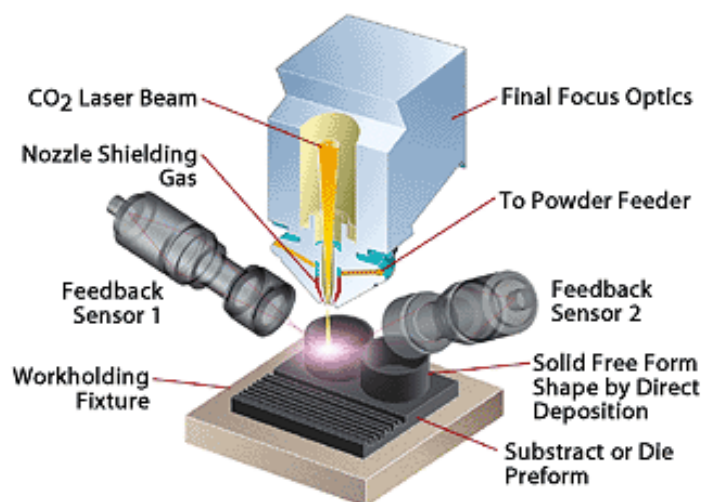


Рисунок 18 – Схема процесса лазерной обработки

5.1.2 Эксперименты с применением лазерной наплавки

Оптимизация технологических параметров имеет решающее значение для:

- осаждения слоя с низким коэффициентом разбавления в связи с небольшим плавлением основного материала [38];
- теплового воздействия, ограниченного основным материалом, что особенно важно для материалов, которые подвергаются фазовым и структурным превращениям [39];
- низкой остаточной деформацией у покрытия и его частей;
- улучшения свойств материала [40].

Технология лазерной проекции, которая использует те же методы осаждения порошка, как и обычные порошки, отвечает требованиям с точки зрения размера и влаги [41] для обеспечения порошков хорошей текучестью.

Размер и форма частиц порошка влияет на производительность способа, структуры и свойств осажденного материала. [42]

Исследуются готовые образцы, на которые была произведена наплавка «ИРЭ – Полюс» г. Фрязино.

Суть эксперимента заключается в изучении влияния параметров процесса (мощность лазерного луча, его диаметр, скорость сканирования, температура предварительного нагрева подложки), на плотность наплавленной части. Тесты будут проводиться с использованием лазера ЛС – 6 - К мощностью до 600 Вт.

Для проведения экспериментов исходя из физико-химических свойств инструмента предлагается использовать следующие порошки: порошок на основе молибдена - 99,76%, и порошок на основе никеля - 99%. По форме частицы порошка являются сферическими, с размерами ~ 80 до 100 мкм для 95% из них.

На рисунке 19 изображен схематичный вид образца с градиентной композицией, изготовленной по технологии DMD.

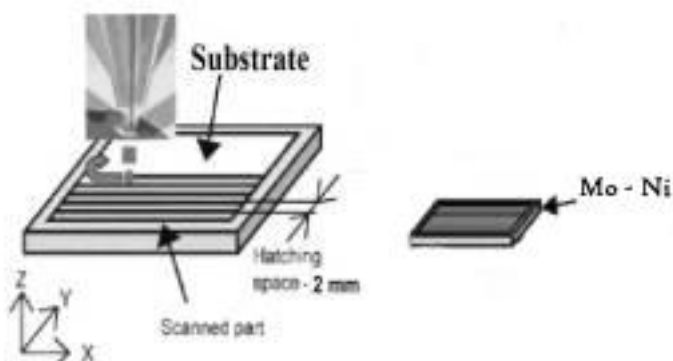


Рисунок 19 – Схематичный вид образца с градиентной композицией, изготовленной по технологии DMD

Наплавленный слой материала обладает стабильными рабочими характеристиками и практически не видоизменяет структуру и свойства кристаллической решетки материала подложки.

Все эксперименты проводятся с использованием лазерного оборудования ЛС – 6 –К (рисунок 20). Порошок транспортируют инертным газом и затем вводят в зону обработки через коаксиальное сопло.



Рисунок 20 – Экспериментальная установка ЛС – 6 – К

Для экспериментов выберем смешанный порошок сплава Mo-WC, так как он обладает хорошими технологическими и физико-механическими свойствами, необходимыми для упрочнения.

Было проведено несколько серий экспериментов.

Первая серия экспериментов

Варьируемыми параметрами будут являться: мощность лазера, скорость сканирования и подачи порошка, чтобы видеть их влияние на свойства. Скорость сканирования составляет 0,01 мм /с, мощность лазера составляет 1000 Вт, а диаметр лазерного луча 3 мм.

Скорость сканирования варьируется от 120 до 360 мм / мин, мощность лазерного варьирует от 200 до 1000 Вт, а диаметр лазерного луча 3 мм.

Вторая серия экспериментов

Вторая серия экспериментов заключается в «отключении» подачи порошка из сопла. Материал предварительно наносится на подложку, после чего производился процесс спекания.

Делается слой порошка на подложку высоте 700-800 мкм. Скорость сканирования лазера варьируется от 0,005 до 0,01 мм / с, мощность - от 200 до 1000 Вт (как и в первой серии экспериментов).

Третья серия экспериментов

В этой серии экспериментов изменяется высота покрытия. В начале эксперимента рекомендуется работать с теми же параметрами, что и в первой и второй серии экспериментов. Во второй части третьей серии изменяются параметры лазерной обработки. Скорость сканирования варьируется от 0,01 до 0,03 мм / с, мощность лазера - от 900 до 1000 Вт.

Четвертая серия экспериментов

Слой покрытия составляет 400-500 мкм. Скорость сканирования лазера варьируется от 0,005 до 0,02 мм / С, мощность лазера - от 1000 до 1500 Вт (таблица 13).

Таблица 13 – Параметры лазерной обработки в четвертой серия экспериментов

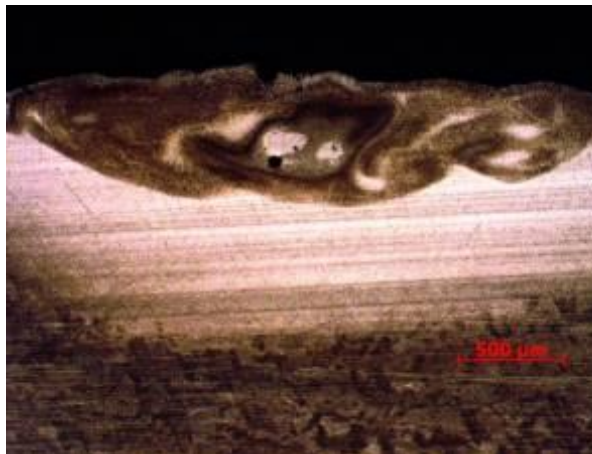
№ покрытия	скорость сканирования, мм/мин	мощность, Вт	дистанция между кордонами, мм
1	700	1000	0.8
2	600	1000	0.8

Полученные результаты позволяют с рациональных научных позиций выбирать оптимальные режимы изготовления многофункциональных покрытий и поверхностей из субмелкокристаллических металломатричных материалов лазерными и газодинамическими методами.

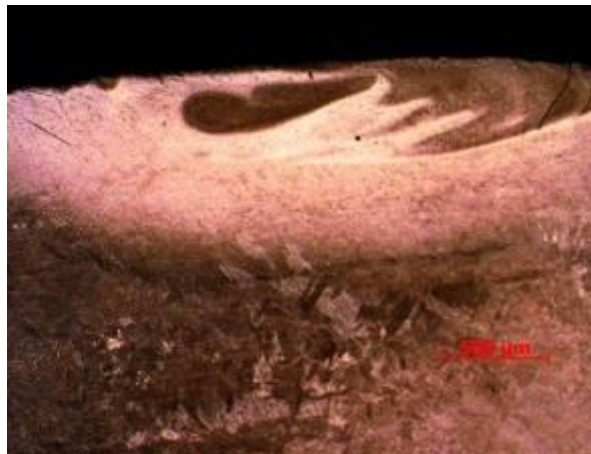
Эксперимент с нанесением порошка непосредственно на подложку, дает положительные результаты в области получения качественного покрытия, а самое главное стабильные, не только по поверхности, но и по всему объему свойства. Также наблюдается хорошая адгезия между подложкой и напыляемым слоем. Толщина покрытия порядка 400-500 мкм.

Работа в широком диапазоне скоростей и мощности лазера также приводит к положительному эффекту.

На рисунках 21–25 представлены фотографии полученных образцов заготовок и структура слоев.

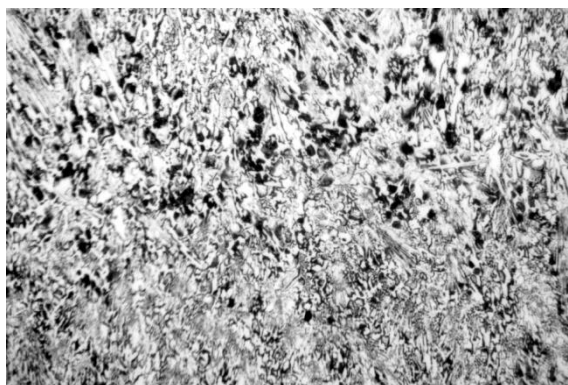


а

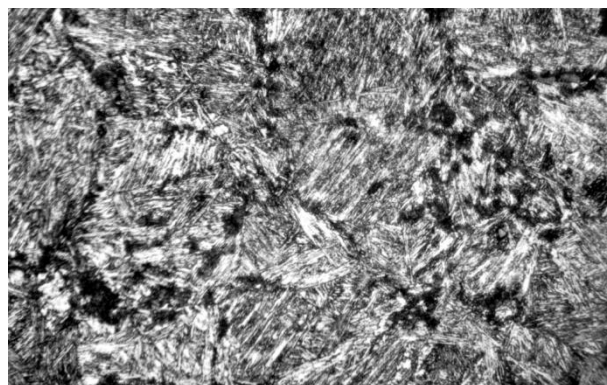


б

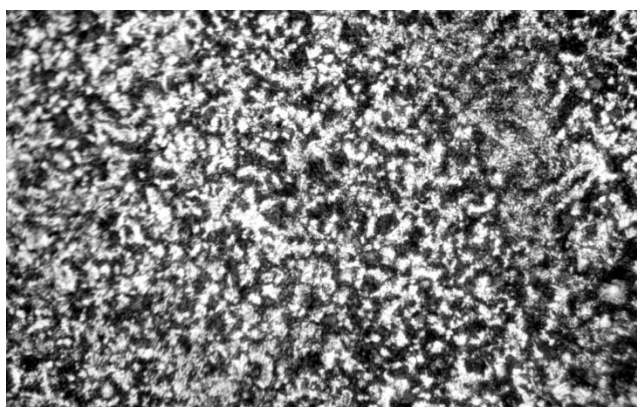
Рисунок 21 – Фотографии полученных образцов



а



б



в

Рисунок 22 – структура образца №1

а – поверхность;

б – под поверхностью;

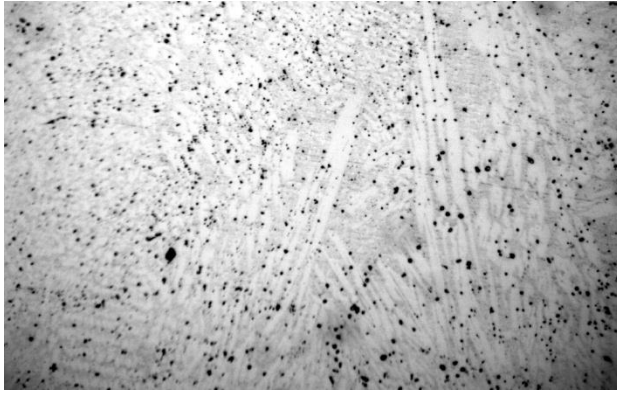
в – центр.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

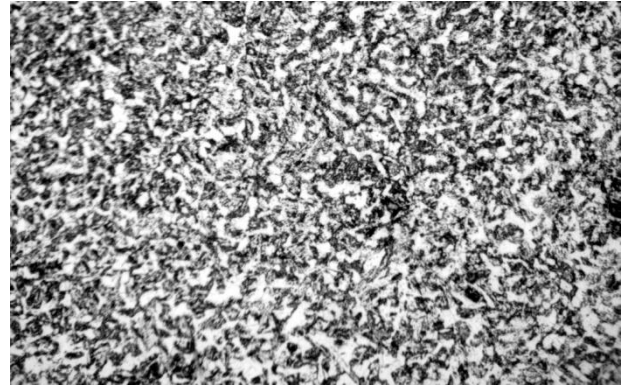
ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ

Лист

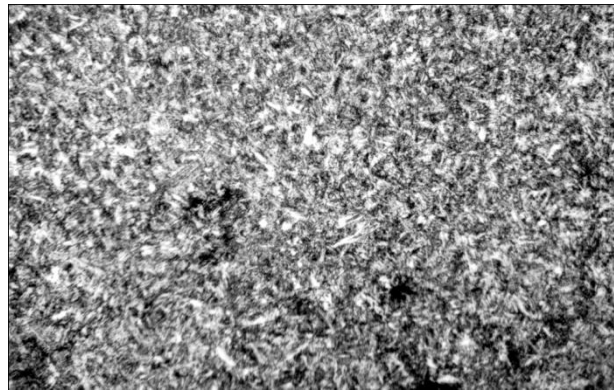
75



а



б



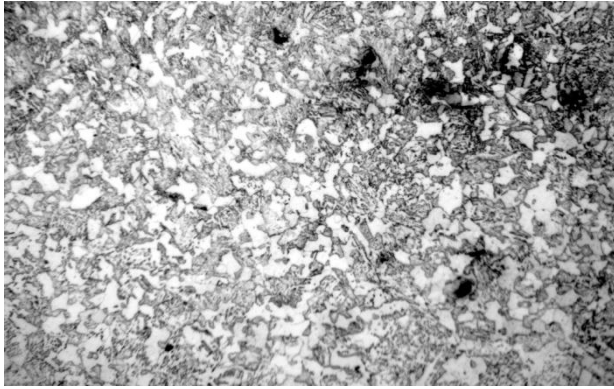
в

Рисунок 23 – структура образца №2

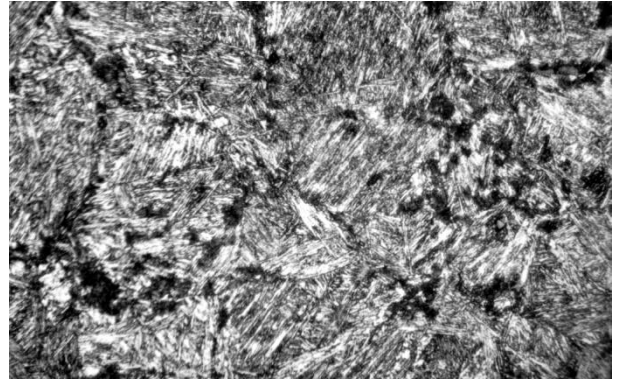
а – поверхность;

б – под поверхностью;

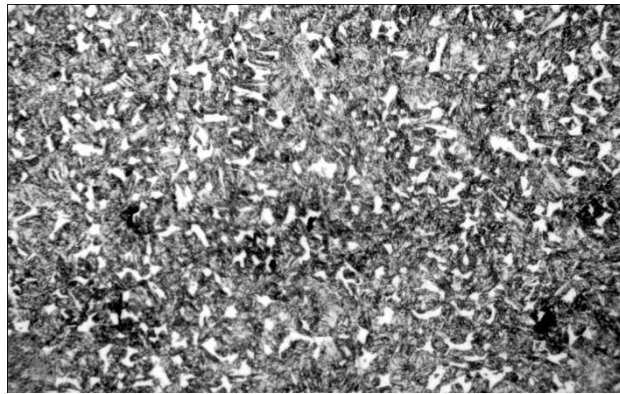
в – центр.



а



б



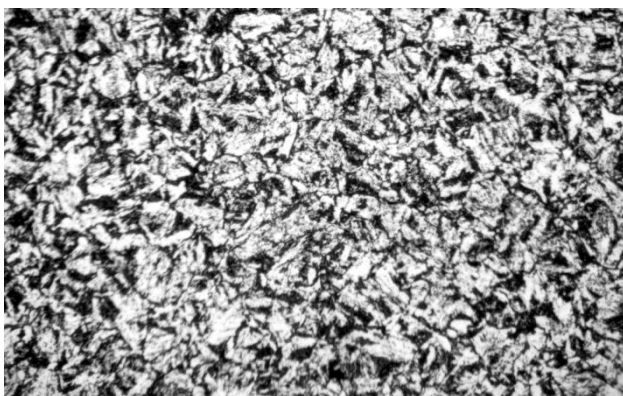
в

Рисунок 24 – структура образца №3

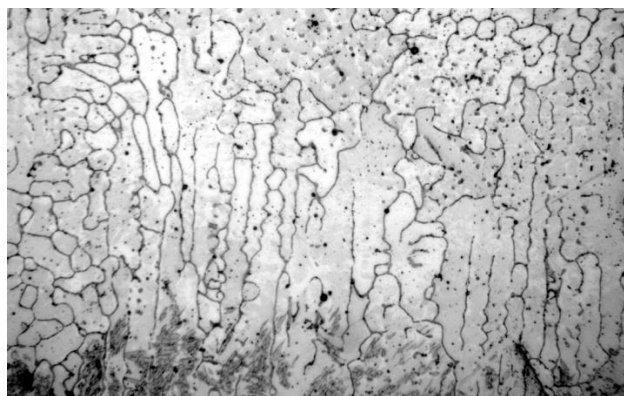
а – поверхность;

б – под поверхностью;

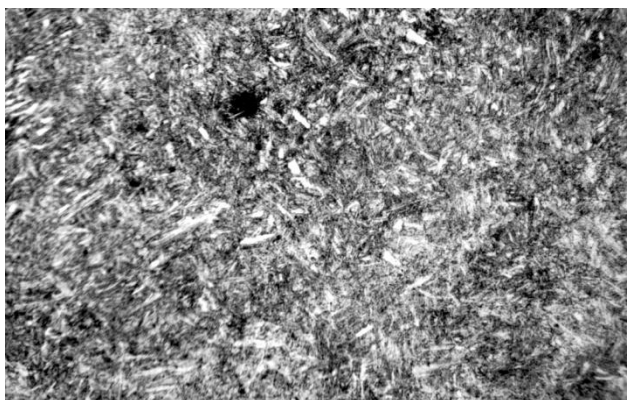
в – центр.



а



б



в

Рисунок 25 – структура образца №4

а – поверхность;

б – под поверхностью;

в – центр.

Твердость покрытий измеряется вдоль линии от поверхности покрытия к подложке. Результаты показывают различные данные по твердости. Следует отметить, что твердость зависит от структуры покрытия. На рисунке 26 представлена зависимость твёрдости по длине поверхности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ

Лист

78

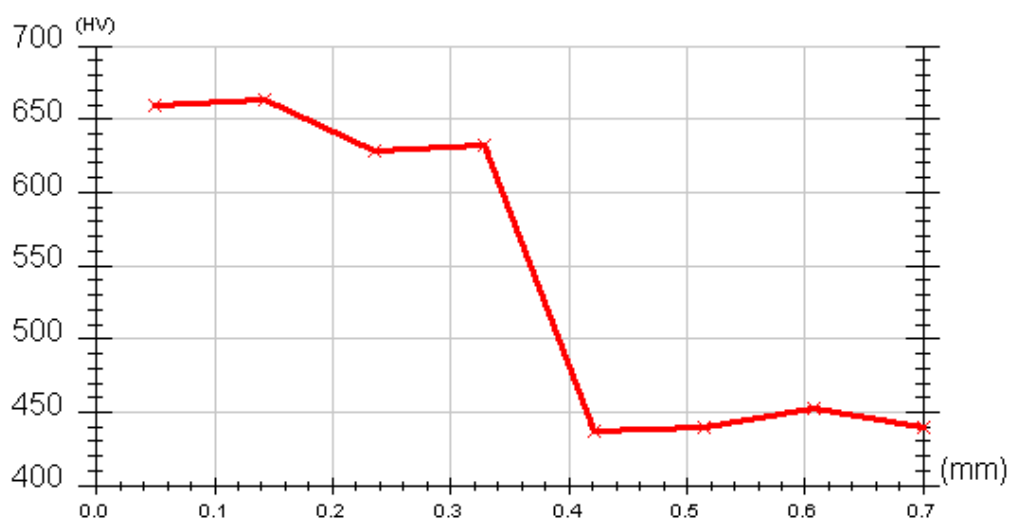


Рисунок 26 – Зависимость твёрдости по длине поверхности

При исследовании всех образцов были выявлены образцы с поверхностной твердостью в диапазоне 800-900 HV.

Таким образом, идея использования порошковых композиционных сплавов для нанесения износостойких покрытий различными методами напыления и наплавки дает положительные результаты в области использования их для изделий специального назначения, особенно это выгодно для технологической оснастки.

Полученные образцы удовлетворяют качественным характеристикам для использования их в условиях повышенного абразивного износа.

В результате экспериментальных данных покрытия получатся с хорошей структурированной поверхностью, без пор и трещин. Следующим шагом исследований в этой области должно быть посвящено варьированию не только мощности лазера и скорости нанесения, но и скорости потока порошка. Действительно, промышленность нуждается в покрытиях с уникальными физическими и химическими свойствами. Тем более, что методы лазерной наплавки позволяют нам удовлетворить потребности мировой промышленности.

Износ рабочей поверхности пресс – формы составил 0,001 мм, что в 10 раз лучше показателя износа пресс – формы без покрытий за период, состав-

ляющий 1 месяц непрерывной работы оборудования. Испытания инструмента продолжаются.

4.2 Выбор способа напыления

Из рассмотренных способов напыления покрытий рассматриваем метод холодного газодинамического напыления низкого давления. Именно он будет использоваться в предлагаемых экспериментах.

4.2.1 Эксперименты с методом ХГН

Определение температурных параметров потока частиц при получении покрытий методом ХГН является одной из самых важных задач. Существует множество работ [21, 25, 26], рассматривающих данную проблему, однако, почти все они отражают только теоретические моменты.

Также не маловажным вопросом является изучение получаемого покрытия. В настоящее время традиционные функциональные покрытия проходят модификацию – армирование соответствующим компонентом (рисунок 27). Это существенно повышает комплекс эксплуатационных свойств, при этом не снижая технологичность покрытия. [31]

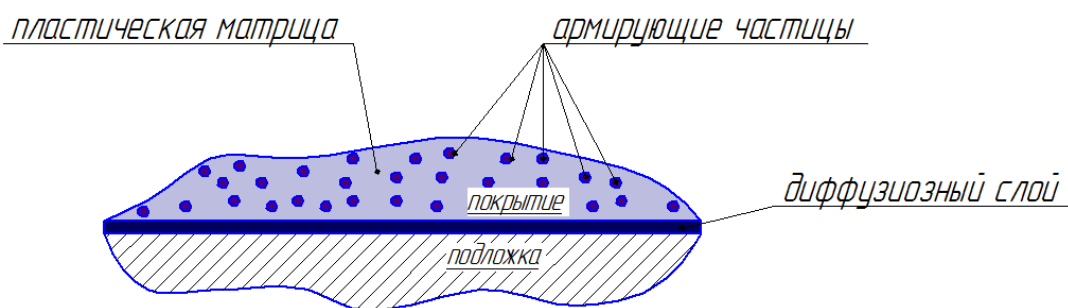


Рисунок 27 – Композиционная структура покрытия

Серия экспериментов проходила на АО ЧРЗ «Полёт». Тесты проводились с использованием комплекта оборудования Димет модель 420 (рисунок 28). Технические характеристики представлены в таблице 14.



Рисунок 28 – Комплект оборудования Димет 420

Таблица 14 – Технические характеристики оборудования Димет 420 [32]

Состав	Напылительный блок; Монтажная стойка.
Давление потребляемого сжатого воздуха	0,6-1,0 Мпа (6-10 атм)
Расход сжатого воздуха	0,4 м ³ /мин
Электропитание	220 В, 3,3 кВт
Производительность по массе наносимого покрытия	1-6 г/мин (0,3-2 см ³ /мин)
Количество фиксированных температурных режимов	5
Количество порошковых питателей	2
габариты	550x260x470 мм
Масса:	
Напылительный блок	1,3 кг
Комплект в целом	Не более 19 кг

Материал подложки – сталь 10КП, 20КП; ХВГ, ВК15 и сплав алюминия АМг2. М и Д16.А.М.

Для проведения экспериментов исходя из физико-химических свойств инструмента, предлагается использовать смесь порошков: порошок на основе молибдена - 99,76% и порошок на основе никеля - 99%.

Для исследования полученных покрытий использовалось следующее оборудование:

- 4XB – металлографический инвертированный микроскоп (рисунок 29);
- ПМТ-3М – микротвердомер (рисунок 30).



Рисунок 29 - 4XB – металлографический инвертированный микроскоп



Рисунок 30 - ПМТ-3М – микротвердомер

Первая серия экспериментов

В серии экспериментов изменяемым показателем был температурный режим, при этом скорость потока частиц оставалась неизменяемым параметром. Используемое оборудование позволяет изменять значения температуры газового потока от 80 °С до 560 °С, поэтому было выбрано 3 температурных режима (таблица 15). Серия экспериментов показала снижение температуры потока при увеличении расстояния между соплом и образцом.

Рекомендованное расстояние от сопла до материала подложки по инструкции по напылению – 5-15 мм. Для эксперимента были взяты расстояния, находящиеся в данном пределе, а также на 5-10мм больше и меньше.

Расход порошка составлял: 0,1 – 0,3 г/с.

Таблица 15 – Температурный режим напыления

Температурный режим, °С	Расстояние, мм					
	0	5	10	15	20	25
200	200	195	179	170	158,3	150
375	375	365,6	358,3	330	316,4	300
500	500	475	466,5	450	425	387,5

По полученным данным был составлен график зависимости температуры потока от расстояния (рисунок 31)

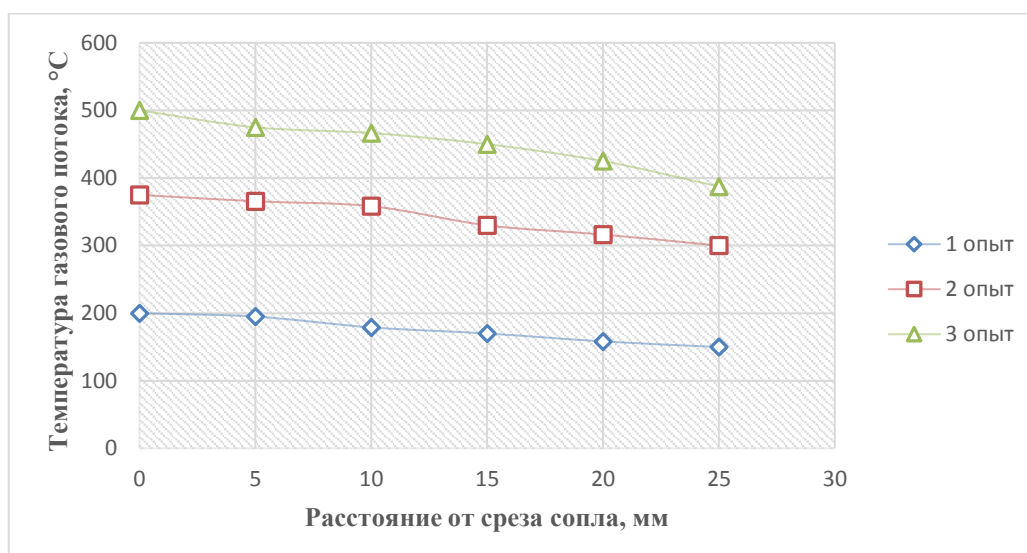


Рисунок 31 – Зависимость температуры торможения газового потока от расстояния между соплом и подложкой при различных режимах

При изучении полученных поверхностей было выявлено следующее:

- при низком температурном режиме наблюдалось пористость покрытия (рисунок 32);
- при среднем температурном режиме получают плотные покрытия без наличия протяжных пор (рисунок 33);
- при высоком температурном режиме на поверхности покрытие становится неравномерным с образованием глубоких кратеров, что связано с локальным перегревом (рисунок 34).

Также, при минимальном расстоянии (до 5 мм) наблюдается неровность покрытия, а при повышенном (от 20 мм и выше) наблюдается появление пористости. Таким образом, оптимальным режимом признается средний температурный режим в рекомендованном диапазоне расстояний между соплом и подложкой.



Рисунок 32 – Поперечное сечение покрытия, полученное при температуре потока 200 °С и расстоянии 5 мм.

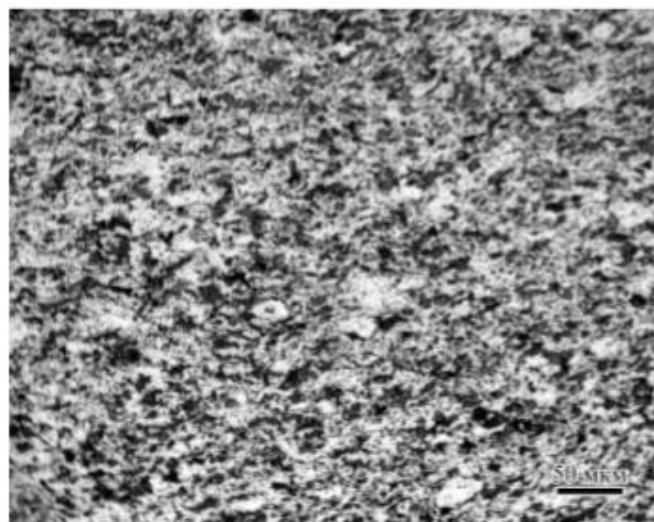


Рисунок 33 – Поперечное сечение покрытия, полученное при температуре потока 375 °С и расстоянии 10 мм.

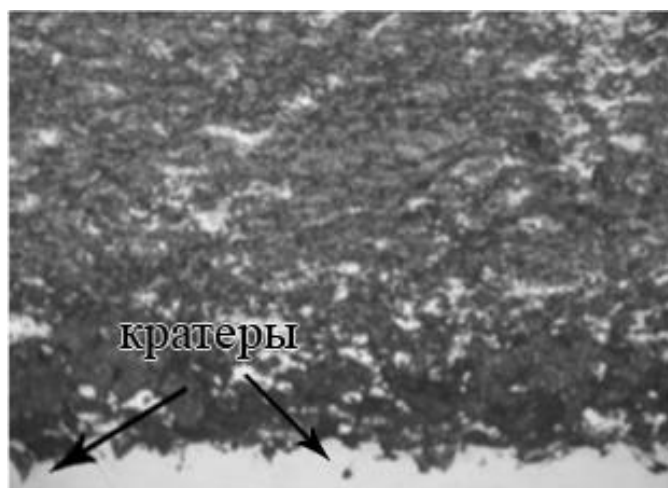


Рисунок 34 – Поперечное сечение покрытия, полученное при температуре потока 500 °С и расстоянии 25 мм.

Вторая серия экспериментов

Во второй серии экспериментов работали с разными материалами подложки – сталью 10 кп и сплавом алюминия. Цель – изучить напыляемое покрытие и диффузионный слой. Было сделано несколько образцов с подложками из различных материалов (рисунки 35-40). Температурный режим был одинаковым – 375 °С, расстояние от среза сопла до подложки – 10 мм.



Рисунок 35 – АМг2.М

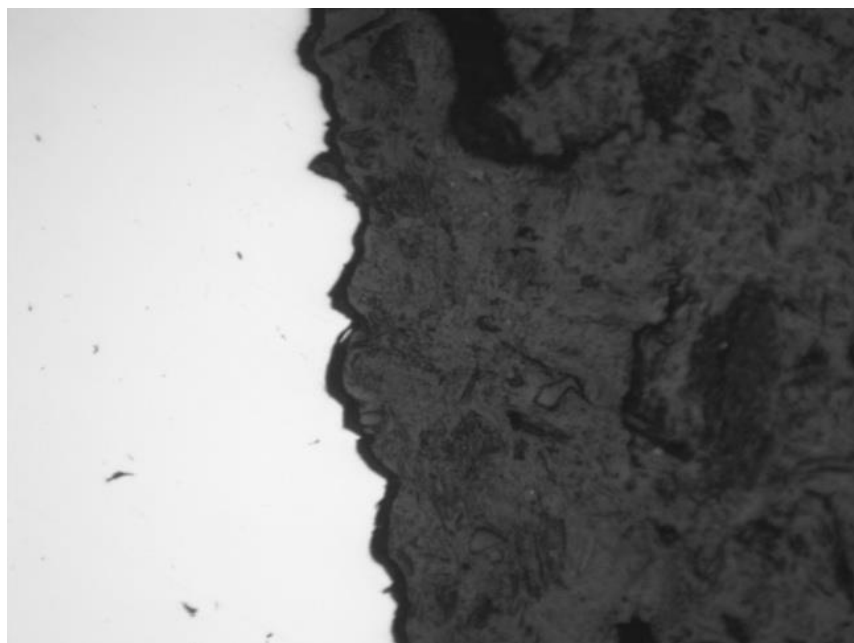


Рисунок 36 – Д16.А.М.

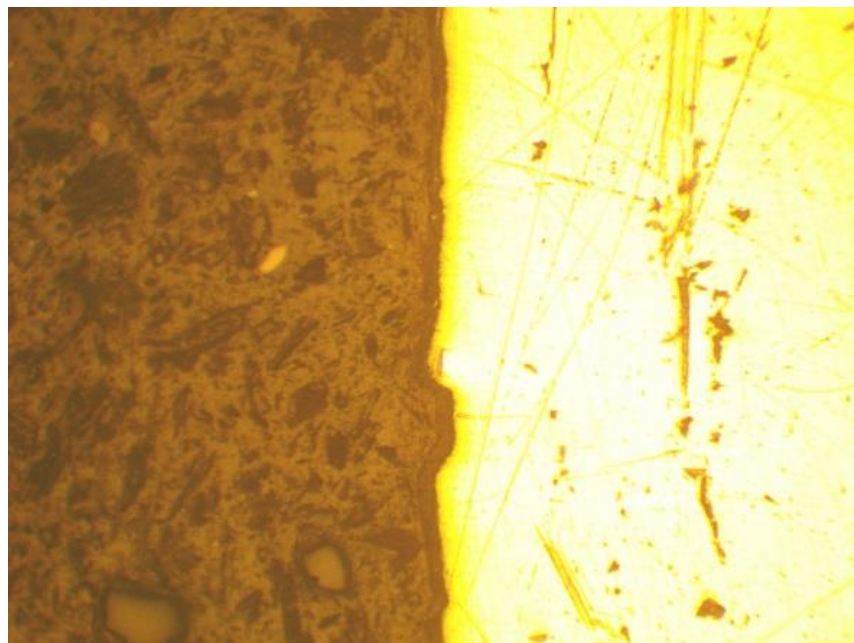


Рисунок 37 – ХВГ

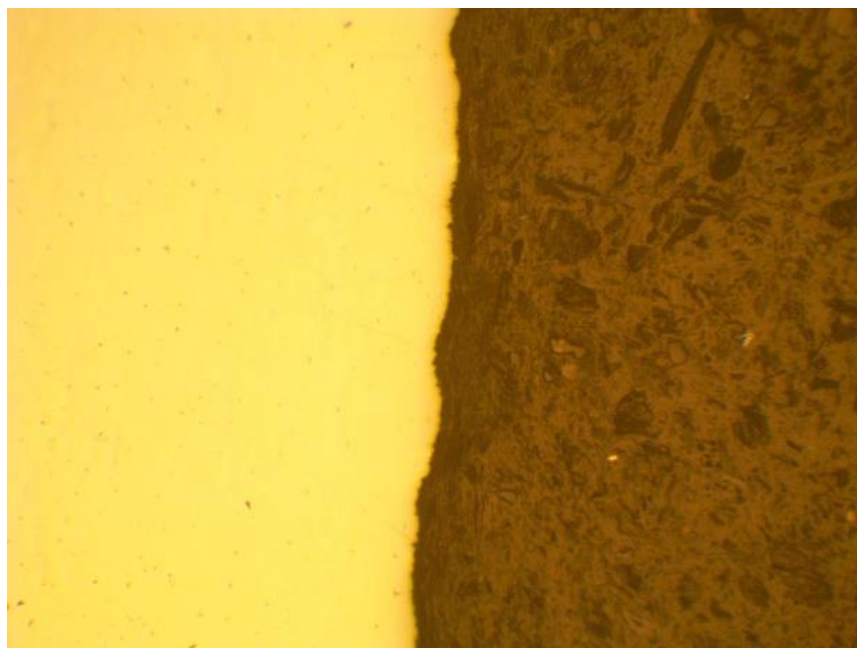


Рисунок 38 – б – ВК15

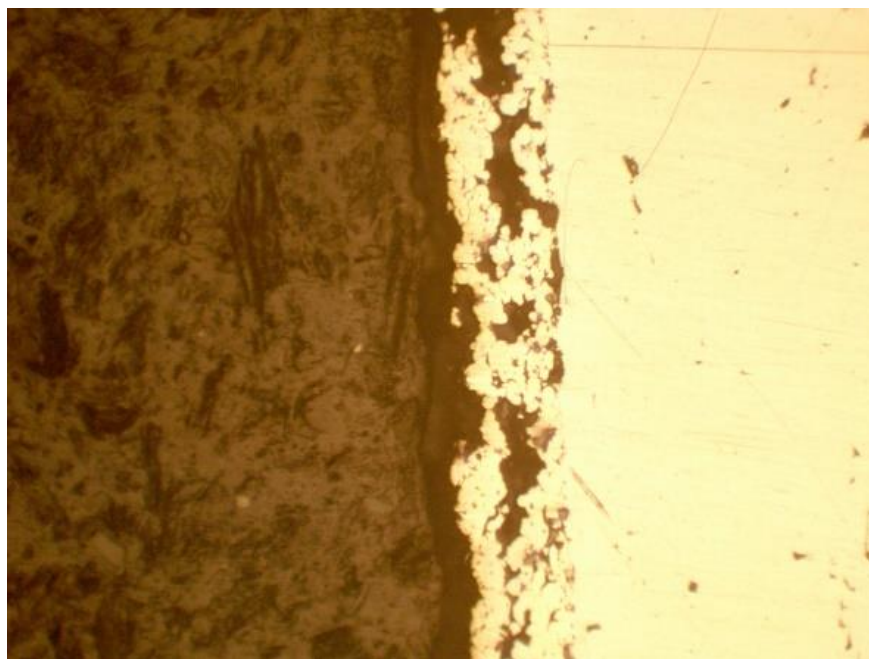


Рисунок 39 – 20КП

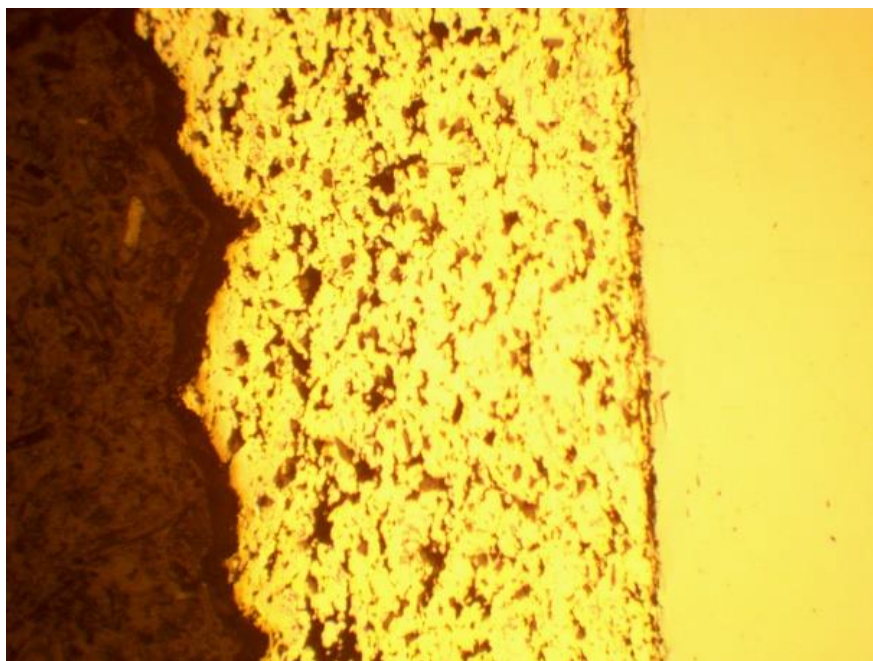


Рисунок 40 – 10КП

На получаемых фотографиях четко виден диффузионный слой и армирующие частицы в композиционном покрытии. Некоторые покрытия имеют неоднородный слой, с образованием кратеров и более глубоким проникновением армирующих частиц в материал подложки, что говорит о том, что нужно подкорректировать режим напыления (рисунки 39 и 40). Опыты с режимами продолжаются.

Третья серия экспериментов

При работе с реальными изделиями сложной формы не всегда есть возможность проводить напыление нормально к поверхности (под углом 90°). В данной серии определялась максимальная толщина покрытия, при нанесении порошка при разных углах наклона: 80° и 65° . Режим напыления: температура газового потока - 375°C , расстояние от сопла – 10 мм.

Результаты показывают, что при напылении покрытия на деталь не под углом 90° снижается коэффициент использования порошка (таблица 16).

Таблица 16 – Результаты измерения максимальной толщины покрытия и коэффициента использования порошка при разных углах наклона сопла

Угол наклона сопла, °	Относительная толщина покрытия	Относительный коэффициент использования порошка, %
65	75-61	0,51 – 0,63
80	81-71	0,72-0,75

При подаче порошка под углом 80° коэффициент использования порошка снижается на 25%, а при 65° снижается на 50%.

Твердость полученных образцов находится в диапазоне от 725 до 800 HV, что ниже твердости покрытий, полученных методом лазерной наплавки, однако, данный диапазон так же удовлетворяет качественным характеристикам для использования деталей в среде повышенного абразивного износа.

Данный метод позволяет увеличить стойкость пресс-формы в 3-5 раз, что позволяет существенно сэкономить на оснастке при изготовлении деталей.

4.3 Выбор материалов для работы

Проведем сравнительный анализ для материалов.

Современное лазерное оборудование требует порошки, имеющие определенную форму – сферическую.

Частицы порошка смеси Mo – WC имеют сферическую форму (рисунок 41).

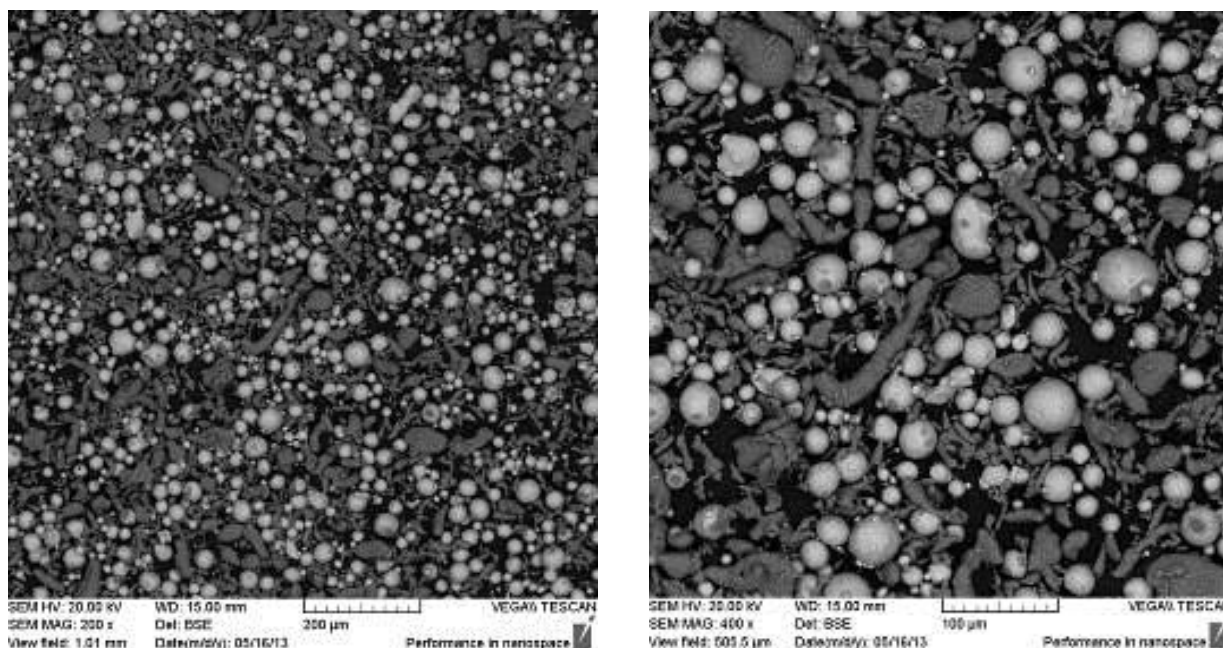


Рисунок 41 – Смесь порошка Mo – WC

Размер частиц порошка карбида вольфрама составляет от d_{10} и $d_{90} = 12,2 \text{ мкм} = 39,3$, а средний диаметр $d_{50} = 23,9 \text{ мкм}$ (рисунок 42).

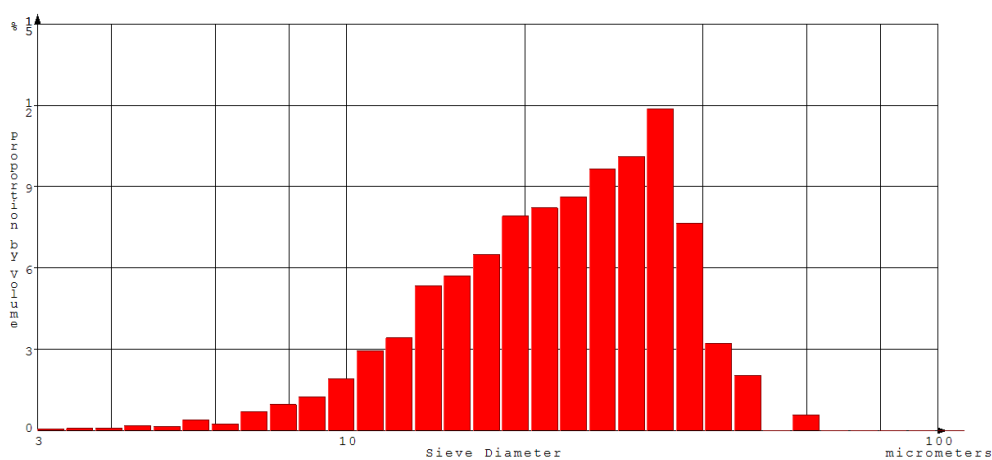


Рисунок 42 – Гранулометрический анализ порошка Mo – WC

Для ХГН применение механических смесей порошков является наиболее распространенным способом получения композиционной структуры покрытия (рисунок 43). Форма порошка не играет важной роли. [33, 38]

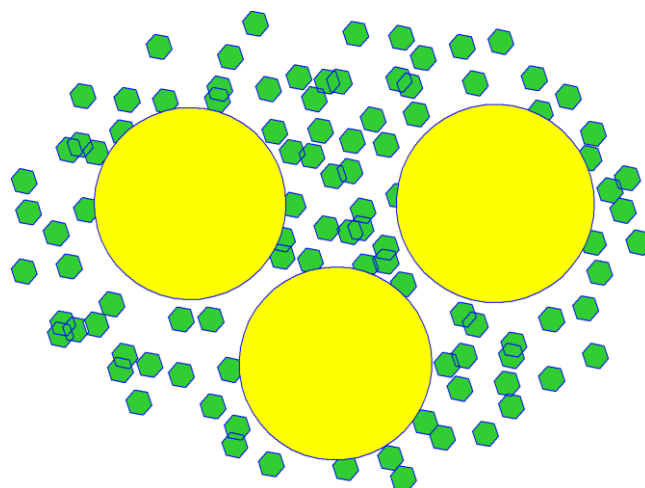


Рисунок 43 – Схематическая структура механической смеси порошков
 Частицы порошка сплава Мо – WC – Ni имеют сферическую продолговатую форму (рисунок 44).

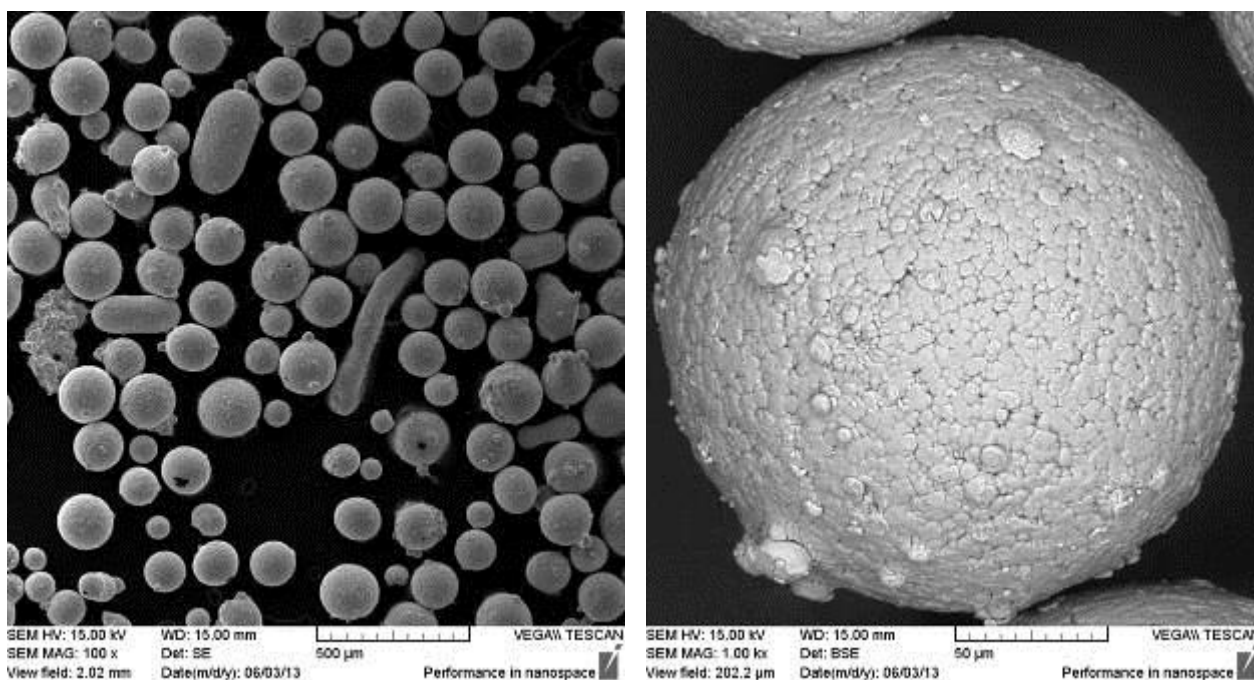


Рисунок 44 – Форма частиц сплава Мо – WC – Ni

Размер частиц порошка карбида вольфрама составляет от d_5 и $d_{95} = 12,2$ мкм и $39,3$ мкм, а средний диаметр $d_{50} = 23,9$ мкм (рисунок 45).

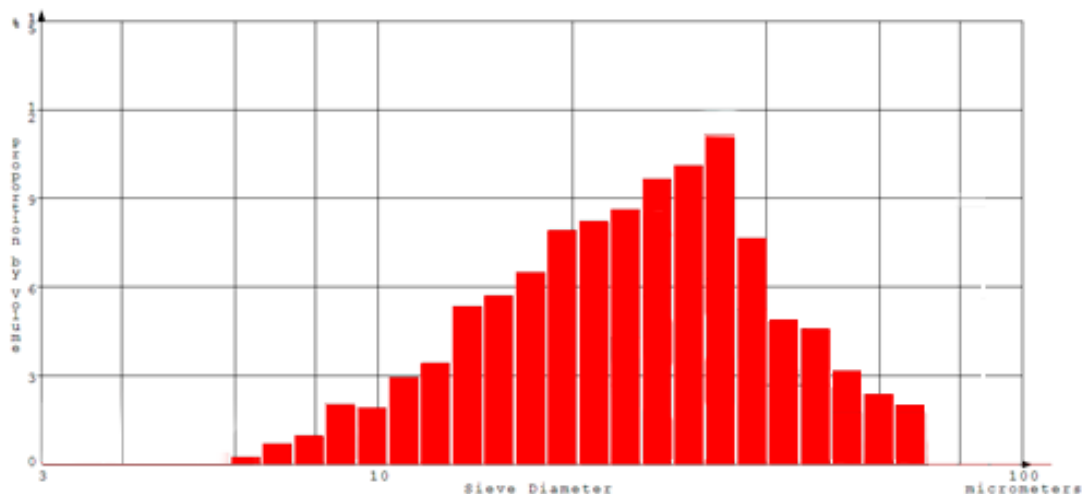


Рисунок 45 – Гранулометрический анализ порошка Мо – WC – Ni
 На рисунке 46 показана структура предлагаемого сплава.

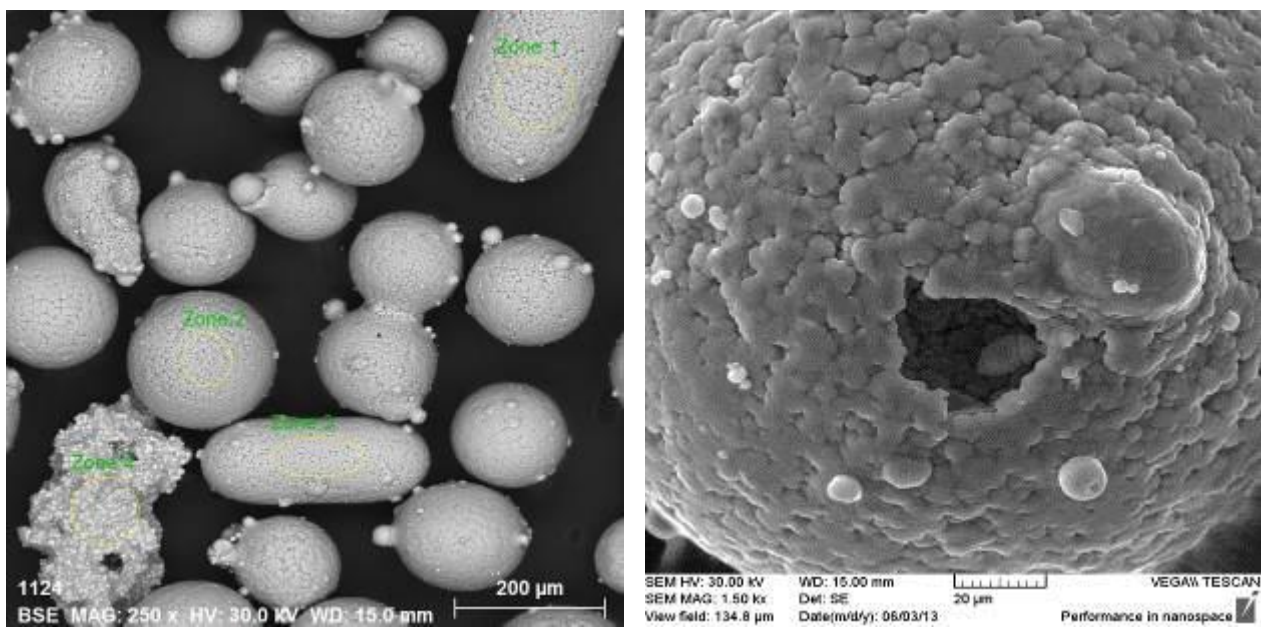


Рисунок 46 – Структура порошкового сплава Мо – WC – Ni

5 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА

Поскольку на сегодняшний день выгоднее использовать метод ХГН, в разработке производства будем использовать установку Димет. Автоматизация технологического процесса напыления позволит повысить производительность и улучшить условия труда.

Для автоматизации процесса детонационного напыления покрытий применяется промышленный позиционер ДКР 400 (рис. 47) и малогабаритный робот KR 6 R700 FIVVE (рис. 48) компании KUKA.

Позиционер двухосевой предназначен для позиционирования заготовки в необходимом положении, обеспечивающим оптимальную досягаемость инструмента робота до всех точек траектории при сварке. Оси позиционера являются, по сути, дополнительными осями робота, что обеспечивает синхронизацию движения позиционера и робота в процессе сварки [34].

Благодаря своим пяти осям KR AGILUS five подходит для постоянной чрезвычайно высокой рабочей скорости. Вместе с тем он отличается высокой точностью. Небольшое пространство, требуемое для установки, и возможность монтажа по выбору – в напольном или в потолочном положении, открывают перед пользователем KR AGILUS five чрезвычайно широкие возможности для адаптации[35].

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

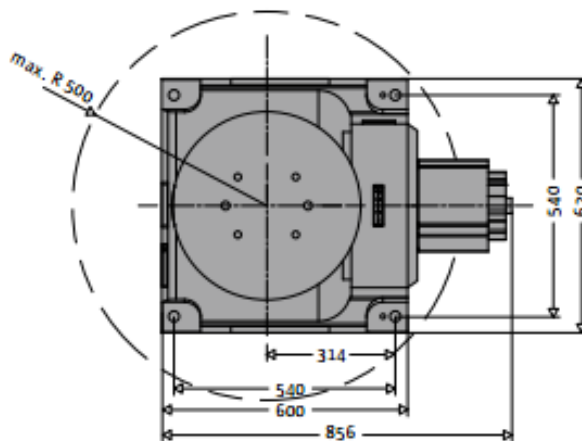
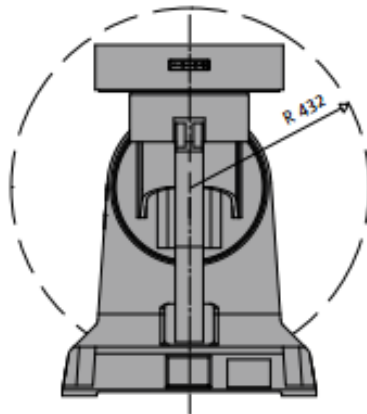
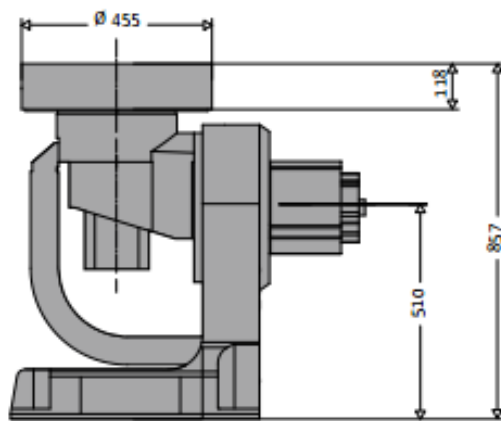


Рисунок 47 – Габаритные размеры позиционера DKP 400

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

Таблица №17 – Технические характеристики позиционера DKP 400[35]

Тип	Единицы измерения	DKP 400
Максимальная нагрузка	кг	400
Максимальный крутящий момент	Nm	Ось 1 (поворотная) = 750 Ось 2 (наклонная)= 1900
Повторяемость (r=500)	мм	±0.05
Угол поворота оси	°	Ось 1 (поворотная) ±190 Ось 2 (наклонная) ±90
Максимальные скорости ост	°/с	Ось 1 (поворотная) = 126 Ось 2 (наклонная) = 92

Work envelope¹⁾ Dimensions A Dimensions B Dimensions C Dimensions D Dimensions E Dimensions F Dimensions G Dimensions H Dimensions I

KR 6 R700 five — 848 mm — 1,117 mm — 706.7 mm — 501.2 mm — 205.5 mm — 365 mm — 315 mm — 715 mm — 400 mm

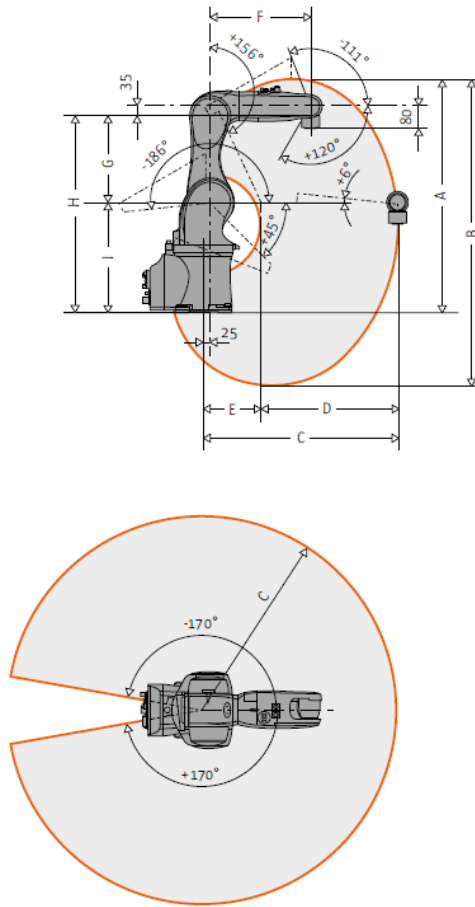


Рисунок 48 – Габариты промышленного робота KR 6 R700 FIVVE

Таблица №18 – Технические характеристики промышленного робота KR 6 R700 FIVVE

Нагрузки	
Полезная нагрузка, кг	6
Рабочая зона	
Макс. радиус действия, мм	706,7
Другие данные и исполнения	
Количество осей	5
Стабильность повторяемости, мм	±0,03
Вес, кг	48
Монтажное положение	На полу, потолке
Система управления	KR C4 compact
Тип защиты	IP 54

6 ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для организации производства проведены необходимые технико-экономические расчеты технологий: изготовление детали конструкции блока питания и упрочнение пресс-форм.

6.1 Производственная программа

Годовая программа задаётся в натуральном выражении с учётом выпуска деталей основного производства, брака и запасных частей[37]. Программа запуска определяется по формуле:

$$Q_3 = (1 + \beta) \cdot Q_в \quad (44)$$

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

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

$$Q_3 = (1 + 0,5) \cdot 1000000 = 1500000, \frac{шт}{год}$$

6.2 Расчет оборудования

Расчетное количество оборудования определяется по формуле:

$$N_p = (1 + K_n) \cdot \frac{C}{\Phi_{30}} \quad (45)$$

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.

$$C = \frac{Q_3}{q} \quad (46)$$

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

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

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

Коэффициент загрузки оборудования определяется по формуле:

$$K_з = \frac{N_p}{N_\phi} \cdot 100\% \quad (47)$$

1) Расчет смесителя:

$$q = 217698;$$

$$C = \frac{1500000}{217698} = 6,9;$$

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

$$\Phi_{эо} = 3550;$$

$$N_p = (1 + 0,15) \cdot \frac{6,9}{3550} = 0,22;$$

$$N_\phi = 1;$$

$$K_з = \frac{0,22}{1} \cdot 100\% = 22\% .$$

2) расчет пресса – автомата:

$$q = n \cdot t \quad (48)$$

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

t - время, t = 60 мин.

$$q = 8 \cdot 60 = 480 \text{ шт/ч}$$

$$C = \frac{1500000}{480} = 3125;$$

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

$$\Phi_{эо} = 3809;$$

$$N_p = (1 + 0,1) \cdot \frac{3125}{3809} = 0,9;$$

$$N_\phi = 1;$$

$$K_з = \frac{0,9}{1} \cdot 100\% = 90\% .$$

3) расчет печи спекания

$$q = 1200 \text{ шт/ч};$$

$$C = \frac{1500000}{1200} = 1250;$$

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

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

$$\Phi_{90} = 3975;$$

$$N_p = (1 + 0,1) \cdot \frac{1250}{3975} = 0,35;$$

$$N_\phi = 1;$$

$$K_3 = \frac{0,35}{1} \cdot 100\% = 35\%$$

4) расчет калибровочного пресса

$$q = n \cdot t$$

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

t - время, $t = 60 \text{ мин.}$

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

$$C = \frac{1500000}{1800} = 833,3;$$

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

$$\Phi_{90} = 3809;$$

$$N_p = (1 + 0,1) \cdot \frac{833,3}{3809} = 0,22;$$

$$N_\phi = 1;$$

$$K_3 = \frac{0,22}{1} \cdot 100\% = 22\% .$$

5) расчет установки детонационного напыления

$$q = 1,5 \text{ см}^3/\text{мин}$$

$$t = \frac{\sum S}{q} \tag{49}$$

Где S – сумма всех площадей, на которые наносится покрытие.

$$t = \frac{181}{1,5} = 120,6 \text{ мин} \approx 2 \text{ ч}$$

$$C = \frac{10}{2} = 5$$

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

$$\Phi_{90} = 3809;$$

$$N_p = (1 + 0,1) \cdot \frac{5}{3809} = 0,005;$$

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

$$K_3 = \frac{0,005}{1} \cdot 100\% = 0,5\% .$$

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-конторский персонал (СКП) и младший обслуживающий персонал (МОП). Численность производственных рабочих цеха определяется как численности производственных рабочих соответствующих специальностей, которая определяется по формуле:

$$C = T \cdot \frac{n}{\Phi_{\text{эп}}} \quad (50)$$

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

n – норма обслуживания единицы оборудования;

$\Phi_{\text{эп}}$ – эффективный годовой фонд времени рабочего данной специальности.

$$T = \frac{Q_3}{q} \quad (51)$$

1) Смеситель: $R = \frac{1500000 \cdot 0,33}{217698 \cdot 3550} = 0,006$, задействуется 1 человек;

2) пресс автомат: $R = \frac{1500000 \cdot 0,5}{480 \cdot 3809} = 0,41$, задействуется 1 человек;

3) печь: $R = \frac{1500000 \cdot 0,5}{1250 \cdot 3975} = 0,15$, задействуется 1 человек;

4) калибровочный пресс автомат: $R = \frac{1500000 \cdot 0,3}{1800 \cdot 3809} = 0,11$, задействуется 1 человек.

люк.

5) установка ХГН: $R = \frac{10 \cdot 0,5}{2 \cdot 3809} = 0,0006$, задействуется 1 человек.

Итого: 5 человек

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

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;
- 1 уборщик;
- 1 рабочий контролер.

6.6 Расчет расхода основных, вспомогательных материалов и энергоносителей

Расчет расхода порошка:

$$M_n = Q_3 \cdot K_{ПМ} \cdot m \quad (52)$$

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:

$$K_{ПМ} = 1 + \sum R_{ni} + \sum R_{oi} \quad (53)$$

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:

$$M_{П} = 1500000 \cdot 1,116 \cdot 1 = 1674000$$

Кроме основных материалов при производстве порошковых изделий используются вспомогательные материалы и различные энергоносители. Расход вспомогательных материалов представлен в таблице 19, а расчет энергоносителей в таблице 20.

Таблица 19 – Расход вспомогательных материалов

Материалы	Единица измерения	Норма расхода на 1т изделия	Расход материала
Пластификатор	кг	20	30000000
Защитный газ	м ²	70	105000000
Машинное масло	кг	50	75000000
Смазочные материалы	кг	10	15000000

Окончание таблицы 19

Обтирочные материалы	кг	1	1500000
Сетка	м ²	0,2	300000
Огнеупоры	кг	9	13500000
Инструмент	кг	40	60000000

Таблица 20 – Расчет энергоносителей

Вид энергоносителя	Норма на 1т изделия	Расход энергоносителей и материала
Электроэнергия:		
прессовое оборудование, кВт.ч	1500	2250000000
подъемно-транспортное оборудование, кВт.ч	100	150000000
печь, кВт.ч	2800	4200000000
установка ХГН, кВт.ч	2800	28000
Сжатый воздух, м ³	500	75000000
Природный газ, м ³	170	255000000
Азот, м ³	5	7500000
Вода оборотная, м ³	210	315000000

6.7 Площади, компоновка и планировка участка

Расчет площади происходит по формуле:

$$F_{\text{п}} = \sum f_i \cdot N_i \quad (54)$$

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

N_i – количество оборудования определённого типоразмера.

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

6.8 Выбор здания цеха и его параметров

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

Размеры участка 36x18. Шаг колонны 6 м.

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-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс лазерной наплавки является перспективным для создания не только многофункциональных покрытий, но и покрытий, обладающих повышенными: износостойкостью, коррозионостойкостью, жаростойкостью. Все эти характеристики являются основными для рабочего инструмента ОМД. Использование лазера позволяет получить хорошие: адгезионную стойкость покрытия и качество поверхности. В большинстве случаев нет необходимости применения дополнительной мех. обработки. Термическое влияние лазера на материал подложки минимально и практически не влияет на изменение его структуры, что нельзя сказать о других способах наплавления покрытий.

Однако, внедрение технологии лазерной наплавки на предприятиях Российской Федерации сдерживается рядом факторов: малой изученностью процесса, стоимостью оборудования и затратами на обслуживание, обучение персонала.

В свою очередь процесс холодного газодинамического напыления дает приближенные к лазерной наплавке результаты, является более экономически выгодным в производстве. На рынке существуют отечественные производители оборудования. Термическое влияние на подложку незначительное, что дает ХГН преимущество перед другими методами напыления. Покрытия, получаемые данным способом, обладают высокими износостойкостью, коррозионностойкостью.

Актуальность данной работы заключается в изучении проблемы износа пресс-форм и способов его устранения, а также то, что в промышленности необходимо использовать современные технологии, которые существенно сокращают расходы на производство.

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров и др. – М.: Металлургия., 1987 – 792с.
2. Порошковая металлургия: учебник для техникумов – 2-е изд. перераб. С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1991 – 432с.
3. Технологические расчеты холодного формования металлических порошков: Методические рекомендации в помощь специалистам. С.А. Мымрин. Челябинск, 1989. – 25с.
4. Справочник по порошковой металлургии: О.В. Ротан, И.П. Габриелов. Минск: Беларусь, 1988. – 175с.
5. Прессы – автоматы для обработки порошковых материалов: В.И. Трусковский, Л.А. Барков, В.К. Плотников. Челябинск: Металл, 1994 – 304 с.
6. Технология порошковой металлургии: А.Н. Степанчук, И.И. Билык. Киев: Вища школа, 1989 – 415 с.
7. Порошок железный ГОСТ 9849 – 86: Издательство стандартов, 1986. – 7с.
8. Конструкционные порошковые материалы: И.Д. Радомысельский, Г.Г. Сердюк, Н.И.Щербань. – К.: Техника, 1985. – 152с.
9. Оборудование и оснастка для формования порошковых материалов: Л.И. Клячко, А.М. Уманский. – М.: Металлургия, 1986 – 336с.
10. Марочник сталей и сплавов: В.Г. Сорокин и др. – М.: Машиностроение, 1989 -640с.
11. Основы порошковой металлургии: Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1987 – 208с.
12. PereOsnastka.ru - <http://pereosnastka.ru/articles/remont-press-form>

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

13. Svarkainfo.ru: Все для надежной сварки! - <http://svarkainfo.ru/rus/technology/naplavka/>
14. Профессиональный портал «Сварка. Резка. Металлообработка» - http://www.autowelding.ru/publ/professionalno_o_pajke/naplavka_sposoby_naplavki/naplavka_klassifikacija_sposobov_naplavki/31-1-0-475
15. Третьяков Р.С., Ставертий А.Я., Шишов А.Ю. Методы и применение лазерной наплавки/ Ритм – 2012. – № 4. – С. 108 – 112.
16. Алхимов А.П., Клинков С.В., В.Ф. Косарев, В.М. Фомин Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. Под редакцией академика В.М. Фомина. Москва, Физматлит 2010, 545 с.
17. Алхимов А.П., Косарев В.Ф., Папурин А.Н. Метод холодного динамического напыления / Совместный доклад физиков американского института физики 1991
18. Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф. Исследование теплообмена сверхзвуковой плоской струи с преградой в условиях газодинамического напыления // Теплофизика и аэромеханика. 2000. Т. 7. № 3. С. 389–396.
19. Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф., Фомин В. М. Холодное газодинамическое напыление. Новосибирск: Физматлит, 2010. 536 с.
20. Ульяницкий В. Ю., Штерцер А.А., Злобин С.Б. Детонационное напыление - для решения задач водородной энергетики/ Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология – 2006. – № 9. – С. 108 – 113.
21. Папырин А. Н., Алхимов А. П., Косарев В. Ф. Газодинамическое напыление. Экспериментальное исследование процесса напыления // ПМТФ. 1998. Т. 39. № 2. С. 182–188.
22. Клинков С. В., Косарев В. Ф., Алхимов А. П., Нестерович Н. И. Газодинамическое напыление. Состояние и перспективы // Труды 5-й Междунар. конф. «Пленки и покрытия'98». 1998. С. 20–25.

23. Алхимов А. П., Гулидов А. И., Косарев В. Ф., Нестерович Н. И. Особенности деформирования микрочастиц при ударе о твердую преграду // Прикладная механика и техническая физика. 2000. Т. 41. № 1. С. 204–209.
24. Алхимов А. П., Демчук А. Ф., Косарев В. Ф., Спесивцев В. П. Установка для напыления на внутреннюю поверхность труб // Труды 5-й Междунар. конф. «Пленки и покрытия'98». 1998. С. 117–120.
25. Клинков С. В., Алхимов А. П., Косарев В. Ф. Натекание сверхзвуковой струи прямоугольного сечения на плоскую преграду // Теплофизика и аэромеханика. 2000.
26. Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф. Исследование взаимодействия двухфазного потока с нагретой поверхностью // Теплофизика и аэромеханика. 1998. Т. 5. № 1. С. 67–73.
27. Чернышев Д. Л. Применение метода газодинамического напыления для получения композиционных материалов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2012. Т. 2.
28. Клюев О. Ф., Каширин А. И., Шкодкин А. В. Технология газодинамического нанесения металлических покрытий // Сварщик. 2003. Т. 4. № 32. С. 25–27.
29. Сова А. А. Исследование процесса нанесения многокомпонентных покрытий методом холодного газодинамического напыления: Автореф. дисс. канд. техн. наук, 2009.
30. Агуреев Л. Е., Костиков В. И., Еремеева Ж. В., Савушкина С. В. Влияние оксидных микродобавок на характеристики дисперсноупрочненных порошковых материалов на основе алюминия // Технология легких сплавов. 2014. № 3. С. 59–66.
31. Марголин В. И. Основы нанотехнологии. СПб., 2004. 310 с.
32. Димет. Оборудование Димет. Цены и технология.
<https://dymet.org/tehnologiya/dostoinstva-dimet>

					ЮУрГУ-150401-2017-239-00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110

33. Каширин А. И. и др. Способ создания слоистых изделий объемной прерывистой формы. Патент № 2038399, 1993.
34. KUKA Robotics RUS All rights reserved - http://www.kuka-robot-ics.com/russia/ru/products/addons/positioner/2_axis/pa_content_dreh_kipp_positio_nierer.htm
35. KUKA Robotics RUS All rights reserved - http://www.kuka-robot-ics.com/russia/ru/products/industrial_robots/small_robots/kr6_r700_fivve/start.htm
36. НПК «Альфа-Интех» - <http://alphajet.ru/positioners/pozitsioner-dvukhosevoi-dkp400.html>
37. Проектирование цехов обработки порошковых и композиционных материалов. Учебное пособие к дипломному проекту: Эжк Е.В. – Челябинск: ЧГТУ, 1992 – 46с.
38. 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
39. 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
40. 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
41. T.A. Dean, Precision forging, Journal of Mechanical Engineering Science 214 (C1) (2000) 113–126.
42. 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