

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
Кафедра физики высоких технологий в машиностроении

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Синтез композиционных порошков “карбид титана-связка Р6М5” и их применение для наплавки и напыления износостойких покрытий</b>

УДК 621.762:661.665:621.793.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM51	Барановский Антон Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	канд.техн.наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черепанова Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Штейнле А.В.	канд.мед.наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФВТМ	Псахье С.Г.	д.ф-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП  
15.04.01 «Машиностроение»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
Р1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
Р2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
Р3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
Р4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, nano технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования, на защите окружающей среды
<b>Универсальные компетенции</b>	

P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности



<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в Microsoft PowerPoint
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Н.В.
Социальная ответственность	Штейнле А.В.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Квашнина О.С.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык	
<b>На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:</b>	
Литературный обзор, инструментальные стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, карбид титана и карбидостали, СВС синтез композиционных порошков	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	канд.тех.наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM51	Барановский А.В.		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 131 с., 24 рисунка, 23 таблицы, 44 источника, 1 прил.

Ключевые слова: композиционный порошок, карбид титана, быстрорежущая сталь, электроннолучевые покрытия, порошковая наплавка, плазменное напыление, самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Объектом исследования являлись композиционные порошки «TiC – связка P6M5», а также электронно-лучевые и плазменные покрытия на их основе.

Целью настоящей работы было исследование порошковых композитов TiC – связка P6M5, полученных методом СВС, а также электроннолучевых и напыленных покрытий и наплавов из них для последующего их применения в качестве материала износостойких покрытий.

В результате исследований описаны структурные особенности и некоторые физико – механические свойства композиционных порошков «карбид титана – связка на основе быстрорежущей стали», а также покрытий и наплавов на их основе.

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: порошковая металлургия, изготовление металлорежущего инструмента, ремонтно – восстановительные технологии, износостойкие покрытия.

Экономическая эффективность/значимость работы – проект обладает высокой ресурсоэффективностью и является ресурсосберегающим.

Оглавление	
Реферат.....	6
Введение.....	9
1. Литературный обзор .....	12
1.1. Инструментальные стали .....	12
1.2. Быстрорежущие стали .....	14
1.3. Твердые сплавы .....	17
1.4. Карбид титана и карбидостали. ....	19
1.5. СВС синтез композиционных порошков. ....	24
1.6. Методы получения покрытий. ....	27
2. Материалы и методы. ....	35
3. Результаты работы .....	40
3.1. Композиционные порошки TiC+P6M5 .....	40
3.2. Электронно-лучевые наплавки TiC+P6M5.....	48
3.3. Плазменные покрытия TiC+P6M5.....	60
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	74
4.1. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	74
4.2. SWOT-анализ .....	76
4.3. Инициация проекта .....	79
4.3.1. Цели и результаты проекта .....	79
4.3.2. Организационная структура проекта .....	80
4.3.3. Ограничения и допущения проекта .....	81

5. Социальная ответственность.....	85
5.1. Введение.....	85
5.2. Техногенная безопасность.....	85
5.2.1. Анализ вредных факторов производственной среды.....	85
5.2.1.1. Шум .....	86
5.2.1.2. Вредные вещества.....	87
5.2.1.3. Микроклимат.....	88
5.2.1.4. Освещение на рабочем месте .....	92
5.2.1.5. Расчет общего равномерного освещения .....	93
5.2.2. Анализ опасных факторов производственной среды.....	97
5.2.2.1. Электрический ток.....	97
5.2.2.2. Пожаробезопасность .....	100
5.2.3. Региональная безопасность.....	101
5.2.4. Организационные мероприятия обеспечения безопасности. ....	102
5.2.5. Особенности законодательного регулирования проектных решений	104
5.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	105
6. Основные результаты и выводы .....	108
7. Список использованной литературы.....	111



## Введение

Технологии порошковой металлургии применялись человеком ещё в древние времена. В бронзовом веке люди умели получать и использовать для получения изделий порошки золота и меди, а также применять горячую ковку порошковой массы. Этот опыт был использован около 5 тыс. лет назад для изготовления железных орудий труда и вооружения. В 20-м веке растущие потребности в таких изделиях, как тугоплавкие нити накаливания, меднографитовые токосъемные щетки и т.д., возродили интерес к порошковой металлургии, позволяющей получать материалы и изделия, которые невозможно получить по технологиям традиционной металлургии, основанной на литье. Продукция современной порошковой металлургии включает материалы со специфическими свойствами и с широкой областью применения (дисперсно упрочненные, фрикционные, антифрикционные, износостойкие, высокопористые и др.). Большинство из вышеперечисленных материалов имеет сложный фазовый состав и структуру и относится к классу композиционных материалов.

Композиционные материалы получили широкое применение в различных областях машиностроения благодаря возможности управления физическими и химическими свойствами на всех этапах производства изделий. Металломатричные композиты, состоящие из твердых соединений (TiC, TiB, WC) скрепленных относительно мягкой и вязкой металлической связкой (Fe, Co, Ni), обладают высокими параметрами твердости и износостойкости, необходимыми для работы в условиях интенсивных абразивных нагрузок, которые могут наблюдаться при высокоскоростной металлообработке, при эксплуатации деталей машин аграрной, горной и нефтегазовой отраслей.

Инструментальная быстрорежущая сталь P6M5 широко используется для изготовления металлорежущего инструмента. Благодаря относительно высокой жаропрочности эта сталь также представляет интерес в качестве

материала износостойких покрытий, работающих при повышенных температурах. Важным ее преимуществом при использовании в качестве покрытия является способность самозакалки в процессе охлаждения нанесенного слоя. Дополнительное улучшение свойств наплавленных покрытий на основе порошка быстрорежущей стали можно получить введением в порошковую присадку тугоплавких соединений, в частности, металлических карбидов. При этом важным для конечного результата свойством карбидов является их растворимость в расплаве наплавочной ванны.

В большинстве случаев при наплавке композиционных покрытий используют механические смеси порошков металла (сплава) и карбида. Из-за различия в дисперсности и плотности порошков имеется опасность сегрегации компонентов порошковой смеси при подаче в наплавочную ванну и, как следствие, неоднородность наплавляемого покрытия по элементному составу. Еще более остро проблема сегрегации стоит в технологиях напыления покрытий. В этом случае особенно необходимо применение композиционных порошков, каждая гранула в которых содержит дисперсные карбидные частицы, однородно распределенные в стальной связке. Использование таких композиционных порошков в качестве материала для наплавки и напыления износостойких покрытий устраняет данные проблемы.

Один из способов получения композиционных гранул – спекание порошковых смесей карбида со стальной связкой при температурах ниже, чем температура начала интенсивной усадки и уплотнения прессовок [1]. При этом смежные разнородные частицы припекаются друг к другу, полученный пористый спек легко дробится. Последующим ситовым рассевом выделяются гранулы композиционного порошка размеров, необходимых для наплавки или напыления.

Однако, наиболее технологичным и высокопроизводительным способом получения композиционных порошков «дисперсный карбид –

металлическая связка» следует признать самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) в порошковых реакционных смесях углерода, металла, образующего карбид, и металла (металлов), образующих металлическую связку. В частности, этим методом был получен ряд композитов на основе карбида титана с железными и стальными связками.

Целью настоящей работы было исследование порошковых композитов TiC – связка Р6М5, полученных методом СВС, а также покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой и плазменным напылением СВС композиционных порошков.

В работе были поставлены следующие задачи:

- 1) Отработать технологические режимы получения СВС композиционных порошков «карбид титана – связка из стали Р6М5».
- 2) Исследовать структуру, фазовый и элементный состав полученных композиционных порошков.
- 3) Использовать полученные композиционные порошки для наплавки и напыления покрытий.
- 4) Исследовать наплавленные и напыленные покрытия и аттестовать их по твердости и абразивной износостойкости.
- 5) Установить влияние методов нанесения покрытий на структуру и свойства получаемых покрытий.

## **1. Литературный обзор**

Важнейшей задачей материаловедческой науки является создание новых композиционных материалов, износостойких многослойных покрытий. В результате были разработаны методы получения композитов и сплавов с уникальными свойствами (твердосплавные режущие инструменты, жаростойкие котельные стали, износостойкие композиты, электротехнические составы) [2]. Интенсивное развитие при создании композиционных материалов получили технологии порошковой металлургии, известной ещё с древних времен. В России эту технологию успешно применили ученые П.Г. Соболевский и В.В. Любарский [3]. В 1826 году ими была разработана технология прессования и спекания платинового порошка. В 1924 году была организована лаборатория тугоплавких металлов при Московском электроламповом заводе, а затем целый ряд научных учреждений на Украине, в Белоруссии и России. В 1923 году Г.А. Меерсон организовал на Московском кабельном заводе производство порошка вольфрама, а в 1932 году на Ленинградском механическом заводе были получены промышленные партии электролитического железа. В 1928-1929 годах на Московском электроламповом заводе были произведены твердые сплавы и инструменты из них [4].

Главной задачей порошковой металлургии было и остается создание материалов с управляемыми на всех этапах технологического производства свойствами и структурой, а также их сохранение при эксплуатации.

### **1.1. Инструментальные стали**

В процессах резания кромка инструмента нагревается и изнашивается. Сохранение твердости режущей кромки при повышенных температурах в течение длительного времени (красностойкость) является основными требованиями, предъявляемыми к режущему инструменту [5]. Все инструментальные стали условно разделены на 4 типа.

### ***1) Стали пониженной прокаливаемости***

Сюда включены все углеродистые инструментальные стали и стали с небольшим содержанием легирующих элементов. Основное свойство данного класса сталей – неглубокая и непостоянная прокаливаемость, в связи с чем середина изделий не получает мартенситной твердости. Внутренние напряжения в стали и тетрагональность мартенсита придают значительную хрупкость, поэтому после закалки обязателен отпуск, температура которого определяется необходимой твердостью инструмента. Всё это необходимо учитывать при изготовлении инструмента из данного класса сталей, его обработке и последующей эксплуатации. Маркировка углеродистых инструментальных сталей начинается с заглавной буквы У, после которой идет цифра, соответствующая содержанию углерода в десятых долях процента (У8, У10, У12). В случае малолегированных сталей аналогично проставляется буква легирующего элемента с цифрой его содержания в сплаве (Х05, Х06). Из данного типа стали изготавливаются плашки, метчики, зубила, матрицы для холодной штамповки.

### ***2) Легированные инструментальные стали (повышенной прокаливаемости)***

Содержание легирующих добавок в данных сталях составляет 1-3%. Данные материалы обладают повышенной прокаливаемостью и закаливаются в масле (ступенчато – в соли). Более медленная скорость охлаждения при закалке позволяет избежать трещинообразования, коробления на инструментах сложной конфигурации, характерного для сталей первого типа. Этот тип сталей разделен дополнительно на 3 группы в зависимости от содержания легирующих элементов:

- *Стали легированные хромом.* Обладают повышенной прокаливаемостью. Добавки кремния также увеличивают прокаливаемость, одновременно повышая устойчивость к отпуску, обеспечивая работоспособность инструмента.

- *Стали, легированные марганцем.* Данный тип сталей обладает повышенной пластичностью, обусловленной аустенитной структурой.
- *Стали легированные вольфрамом.* Это высокотвердые стали, которые при нагреве размягчаются медленнее, чем простые углеродистые.

## **1.2. Быстрорежущие стали**

Данный класс сталей предназначен для изготовления режущего инструмента, работающего в условиях высоких скоростей резания. Они должны обладать высокой твердостью и красностойкостью, обратимой и необратимой твердостью. Эти свойства необходимы, так как основное тепло концентрируется на режущей кромке инструмента и чем больший разогрев без потери режущей способности может выдержать материал, тем выше может быть скорость резания. Твердость инструментальных материалов в зависимости от температуры нагрева представлена на рисунке 1.

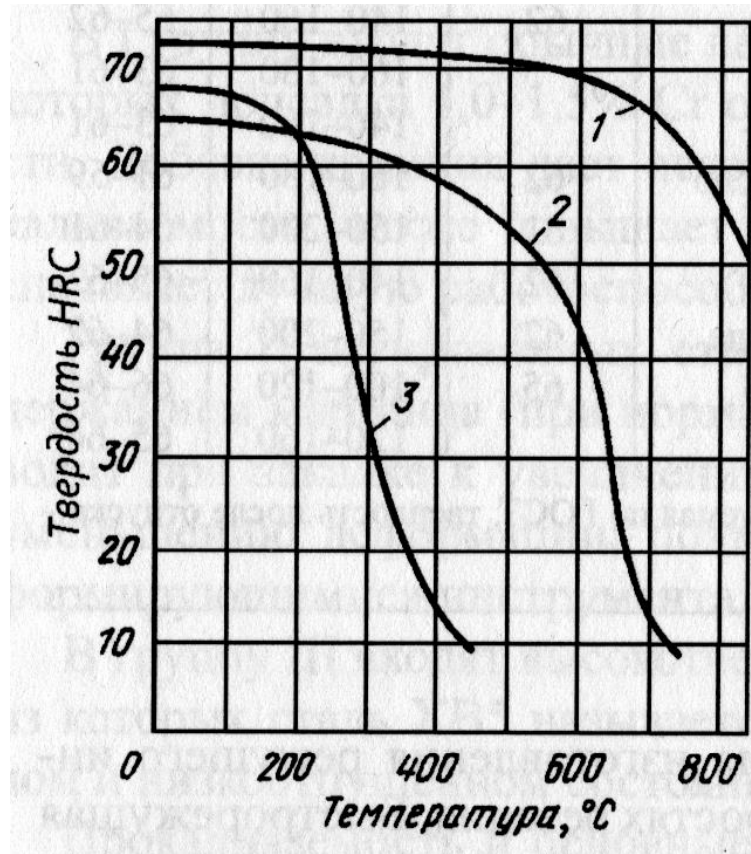


Рисунок 1. Твердость инструментальных материалов в нагретом состоянии. 1 – твердый сплав; 2 – быстрорежущая сталь; 3 – углеродистая сталь [5].

Твердость углеродистой стали (3) резко снижается при достижении температуры в 200 °C. Очевидно, что использовать данный сплав выше указанной температуры невозможно. Быстрорежущие стали (2) начинают терять свою твердость в диапазоне от 400 до 600 °C. Следовательно, для быстрорежущих сталей возможно использовать бóльшие скорости резания, что повышает производительность. Наибольшей горячей твердостью (от 600 °C и выше) обладают твердые сплавы (1), внимание которым будет уделено позднее.

Высокая твердость мартенсита в стали объясняется растворением углерода в  $Fe_\alpha$  с образованием пересыщенного раствора. При его отпуске выделяются мельчайшие частицы карбида. При отпуске до 200 °C выделившиеся карбиды достаточно мелкие и не снижают твердость, но выше

данной температуры их коагуляция приводит к снижению твердости. Поэтому инструментальные стали легируют карбидообразующими элементами, затрудняющими процесс коагуляции карбидов. Этими элементами являются такие металлы, как вольфрам, молибден, хром, ванадий. Кроме того, все перечисленные элементы сужают область существования аустенита, повышают твердость стали, снижают пластичность. Наличие хрома в стали способствует некоторому повышению порога хладноломкости. В связи с дефицитом вольфрама в 70-е годы 20 века возникла и развивается тенденция к замене вольфрама другими легирующими элементами. Основные представители быстрорежущих сталей приведены в таблице 1. Легирующие элементы в быстрорежущих сталях замедляют распад аустенита, поэтому при закалке требуются меньшие скорости охлаждения, чем для углеродистых сталей. В частности, сталь Р6М5 принимает закалку даже при охлаждении в вакуумной печи [6, 7]. Эта сталь наиболее широко используется для режущего инструмента из-за благоприятного сочетания «цена – свойства».



Марка стали	C	Cr	W	Mo	V	Co
P18	0,7–0,8	3,8–4,4	17,0–18,5	< 1,0	1,0–1,4	–
P12	0,8–0,9	3,1–3,6	12,0–13,0	< 1,0	1,5–1,9	–
P9 (ЭИ262)	0,82–0,95	3,8–4,4	8,5–10,0	< 1,0	2,0–2,6	–
P6M5 (ЭИ298)	0,82–0,90	3,8–4,4	5,5–6,5	5,0–5,5	1,7–2,1	–
P3M3Ф2 (ЭИ290)	0,85–1,1	3,6–4,3	2,6–3,3	2,6–3,3	1,5–2,0	–
P3M3Ф3 (ЭИ276)	1,0–1,15	3,8–4,6	2,2–2,9	2,3–2,9	2,2–2,8	–
P0M3Ф2 (ЭИ260)	0,9–1,05	4,0–5,0	–	3,2–4,0	2,0–2,6	–
P0M2Ф3 (ЭИ277)	1,1–1,25	3,8–4,6	–	2,3–2,9	2,6–3,3	–
P6M5K5	0,80–0,88	3,8–4,3	6,0–7,0	4,8–5,3	1,7–2,2	4,8–5,3
P6M5Ф2K8 (ЭП658)	0,95–1,05	3,8–4,4	5,5–6,6	4,6–5,2	1,8–2,4	7,5–8,5
P9M4K8	1,0–1,1	3,0–3,6	8,5–9,6	3,8–4,3	2,1–2,5	7,5–8,5

Примечание. Содержание постоянных и случайных примесей ограничено в этих сталях следующими пределами, %: 0,4 Mn; 0,5 Si; 0,4 Ni; 0,03 S; 0,035 P. При введении азота (примерно 0,1%) в середине обозначения ставят букву А.

Таблица 1. Состав основных марок быстрорежущих сталей, % [5].

В отожжённом виде структура сталей всех марок состоит из  $\alpha$ -твердого раствора и карбидов Cr, W, Mo, V типа  $M_6C$ , MC,  $M_{23}C_6$ ,  $M_3C$ .

Для получения высокой красностойкости необходимо перевести в  $\gamma$ -твердый раствор углерод и легирующие элементы. Для этого применяют высокие температуры нагрева под закалку. Добавление кобальта также повышает красностойкость, но его цена крайне высока.

Остаточный аустенит в инструментальных сталях – нежелательная фаза. Его твердость, теплопроводность ниже, чем у мартенсита. Для превращения остаточного аустенита в мартенсит производят обработку холодом или отпуск. Наиболее полно превращение проходит при использовании многократного отпуска [5].

### 1.3. Твердые сплавы

Твердость твердых сплавов может сохраняться вплоть до температур в 1000 °С. Инструмент из такого материала способен работать в самых жестких

условиях – высокоскоростном резании, в отсутствие смазочно-охлаждающей жидкости.

Изготовление инструмента из твердых сплавов осуществляется методами порошковой металлургии путем смешивания порошков карбидов вольфрама, карбидов титана с кобальтом с последующим прессованием и спеканием. Они чрезвычайно твердые, не подвергаются никакой механообработке, кроме шлифования. Пластика такого твердого сплава прикрепляется к державке из конструкционной или инструментальной стали.

Высокая хрупкость и малая прочность на растяжение являются существенным недостатком данных сплавов, поэтому режимы работы изделий строго регламентируются, исключаются ударные и толчкообразные воздействия, приводящие к выкрашиванию инструмента.

По структуре твердые сплавы разделены на три группы

- Однокарбидные – состоящие из карбида вольфрама, группа ВК. Внутри группы сплавы различаются содержанием кобальтовой связки (ВК3, ВК6, ВК8). Чем больше кобальта, тем мягче сплав (менее хрупок), но размягчение происходит при меньших температурах. Используются для обработки хрупких материалов.
- Двухкарбидные – с добавлением карбида титана, типичный представитель Т15К6. Используют для обработки сталей.
- Однокарбидные – состоящие из сложного карбида (Ti, W)C, группа ТК (Т30К4, Т60К6). При таком содержании титана весь вольфрам полностью растворен в карбиде титана. Это обеспечивает большую твердость, чем твердость двухкарбидных твердых сплавов и возможность применения при бурении скважин и обработке горных пород.

В связи с высокой стоимостью кобальта и вольфрама твердые сплавы ВК достаточно дороги. Поэтому делаются попытки получения твердых, износостойких материалов на базе сталей с

использованием более дешевых и доступных карбидов, например карбидов титана. Псевдосплавы на их основе названы карбидостаями.

#### **1.4. Карбид титана и карбидостали.**

Карбидостаями называют материалы, состоящие из легированных сталей и карбидов, массовая доля которых в структуре композита может изменяться от 20 до 70 масс. % [1]. В качестве карбида чаще всего используется карбид титана. По своим свойствам они занимают промежуточное положение между твердыми сплавами и сталями. В связи с невысокой стоимостью карбида титана, карбидостали используют в качестве замены твердых сплавов при изготовлении штампового и мерительного инструмента. Высокая твердость и износостойкость карбидосталей позволяет использовать их также как материал конструктивных деталей машин: втулок, валков, подшипников, зубчатых колес.

Карбид титана может быть получен различными способами, а полученный карбид, в зависимости от метода и технологии получения, может быть в виде волокон, покрытий, монокристаллов или порошков. Наиболее простым в получении и востребованным в производстве является карбид титана в виде порошка, в связи с чем существуют многочисленные способы его получения. Возможно получение порошков карбида титана из оксидов или галогенидов титана, а также из чистого титана [8, 9].

Наиболее дешевым и легкодоступным оксидом титана является диоксид титана, поэтому чаще всего карбид титана получают именно из него. Возможные способы получения карбида титана из диоксида титана это: плавление смеси оксидов с углеродом, углетермический метод и плазмохимический синтез. Карбид титана также можно получать с помощью процессов гидрирования-дегидрирования а также карбидизации смеси титановой стружки с сажей.

Наиболее исследованы и чаще всего используются методы получения карбида титана из диоксида титана и чистого титана, несмотря на более высокую стоимость титана по сравнению с диоксидом. Поэтому постоянно ведутся поиски новых, более экономичных методов получения карбида титана. На сегодняшний день активно развиваются методы получения карбида титана из отходов машиностроительного производства и из бедных титановых руд.

Из порошка титана можно получить карбид титана с помощью прямого синтеза без плавления, псевдоплавления и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Прямой синтез осуществляется обычно с целью получения карбида титана с заданным содержанием связанного углерода при минимальном содержании свободного углерода и кислорода. Процесс представляет собой спекание титана и сажи в вакуумной печи при остаточном давлении не более  $10^{-2}$  Па [10]. Псевдоплавленный карбид титана получают при взаимодействии расплавленных частиц титана с сажей. Сначала брикеты из титана и сажи нагревают до  $900^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $35 - 40^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , после чего образцы нагревают до  $2050^{\circ}\text{C}$  за 25 минут. Расплавленный титан смачивает и пропитывает пористые агломераты сажистого углерода, который активно диффундирует в металле. В результате получают зерна карбида титана, по свойствам схожие с литым карбидом титана.

Получение карбида титана методом СВС осуществляется безгазовым способом. Реакция горения в брикете из порошков титана и сажи протекает несколько секунд. Поскольку титан имеет высокое сродство к кислороду [11], то после проведения СВС на воздухе, в процессе остывания, особенно в первые несколько минут, активно образуются оксиды титана, поэтому синтез чаще всего проводят в защитных инертных средах. Исходный порошок титана также должен содержать минимальное количество примесей, в том числе и кислорода. Кислород практически отсутствует в карбиде

титана, синтезированном из порошка титана с содержанием кислорода менее 2% при равновесном давлении 1000 Па.

Минимальное содержание кислорода и свободного углерода при максимальном содержании связанного углерода удается получить при использовании порошков титана с размером частиц 60 – 120 мкм. При использовании порошка титана с размером частиц менее 60 мкм увеличивается газовыделение, и, как следствие, ухудшается качество получаемого карбида титана в связи с повышенным содержанием абсорбированного кислорода. При использовании порошка титана с размером частиц более 120 мкм не удается хорошо перемешать порошки титана и сажи в связи со значительной разницей между размерами их частиц, и в результате горение происходит неравномерно, либо не удается поджечь смесь совсем.

Исследованию систем титан – углерод посвящено множество работ. На рисунке 2 приведена диаграмма состояния этой системы.

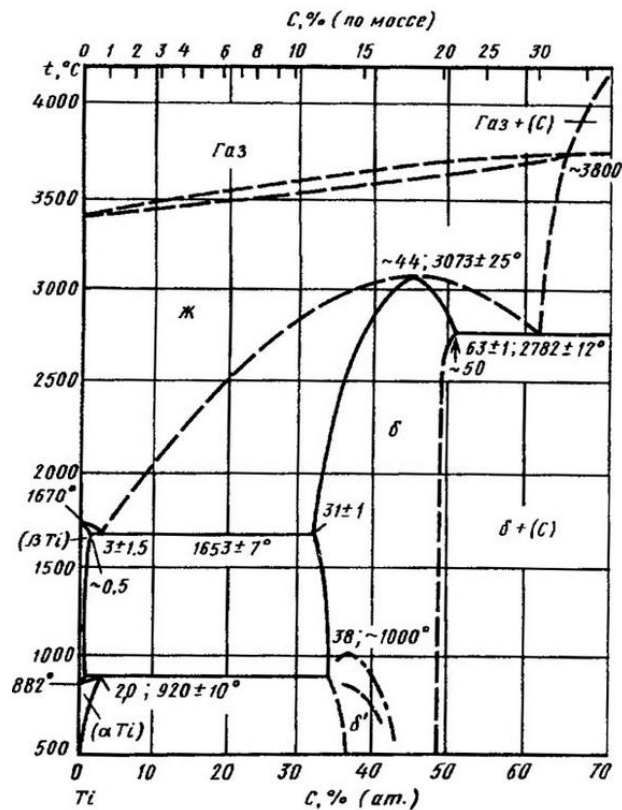


Рисунок 2. Диаграмма состояния Ti – C [12].

При присутствии углерода в титане температура  $\alpha$ - $\beta$  превращения титана повышается от  $882$  до  $920^\circ\text{C}$ . Максимальная растворимость углерода наблюдается при  $1750^\circ\text{C}$  в  $\beta$ -титане и понижается с уменьшением температуры.

Период решетки карбида титана меняется в зависимости от его стехиометрии – с уменьшением содержания связанного углерода уменьшается параметр решетки. Максимальный параметр решетки наблюдается в стехиометрическом карбиде титана  $\text{TiC}$  и составляет  $0,4326$  нм [13, 14, 15]. Область гомогенности карбида титана довольно широкая, карбид титана существует вплоть до  $\text{TiC}_{0,46}$ . В пределах области гомогенности значительно меняются его свойства. Карбид титана очень стабильный, в связи с этим имеет высокую температуру плавления (около  $3410^\circ\text{C}$ ) и теплоту образования из элементов ( $183,7$  кДж/К). Теплопроводность карбида титана при температуре ниже  $-173^\circ\text{C}$  тем больше,

чем больше чем его дефектность по углероду, при более высоких температурах внутри области гомогенности теплопроводность неизменна и при 20°C составляет  $6,8 \pm 0,3$  Вт/(м·К), с увеличением температуры до 1500°C; теплоемкость также увеличивается до 30 Вт/(м·К), а при 2400°C она уже составляет 40 Вт/(м·К).

Прочностные свойства карбида в основном зависят от пористости и слабо зависят от дефектности по углероду. Так, при увеличении пористости образца на 5% прочность снижается вдвое. У образцов, имеющих пористость около 0%, прочность на разрыв вплоть до температуры 1000°C составляет около 500 МПа, после чего резко снижается. Прочность на сжатие с увеличением температуры снижается от ~1400 МПа при 20°C до ~200 МПа при 2200°C. При этом микротвердость карбида титана снижается при увеличении дефектности по углероду от 31,5 до 15 ГПа. При температурах ниже 400°C карбид титана разрушается хрупко, при более высоких температурах характер разрушения меняется на хрупко-вязкий, причем тем раньше, чем выше дефектность карбида по углероду. Так, для  $TiC_{0,5}$  переход в область хрупко-вязкого разрушения наступает при 400°C, для стехиометрического  $TiC$  при температурах около 1100°C [1, 6].

Износостойкость карбида титана сильно зависит от температуры, при которой проводятся испытания. Наибольшая скорость изнашивания наблюдается у образцов  $TiC_{0,58}$  и  $TiC_{0,68}$  в области высоких температур, у образцов стехиометрического состава скорость износа практически неизменна в интервале температур 20 – 1200°C.

Энергия активации самодиффузии углерода в карбиде титана увеличивается с ростом дефектности карбида по углероду, а энергия активации самодиффузии титана в карбиде титана остается практически постоянной во всей области гомогенности. Карбид титана растворяется в царской водке и смеси азотной и плавиковой кислот [11].  $TiC$  обладает высокой стойкостью к окислению и интенсивно окисляется лишь при

температурах выше 1100°C. Благодаря своей высокой тугоплавкости, жаростойкости, жаропрочности, твердости, стойкости к окислению и электропроводности карбид титана широко используется во многих отраслях промышленности.

В результате проведенного анализа литературы по свойствам различных сталей и по свойствам карбида титана можно утверждать, что среди металломатричных композитов наибольший интерес представляют композиты на основе карбида титана со связкой из быстрорежущей стали Р6М5.

### **1.5. СВС синтез композиционных порошков.**

Существует множество способов получения композиционных порошков [2, 16], но особое место занимает СВ синтез. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – это процесс, основанный на проведении экзотермической реакции взаимодействия исходных реагентов в форме горения. Целевым продуктом СВС являются твердые химические соединения (карбиды, бориды, нитриды, оксиды и т.п.) и материалы на их основе. В основе СВС лежит научное явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций, открытое в 1967 году Российскими учеными А.Г. Мержановым, И.П. Боровинской и В.М. Шкиро. Высокие температуры реакции (2000 °С и выше) обеспечивают синтез многокомпонентных и композиционных материалов на основе тугоплавких соединений непосредственно в волне горения [17].

Образцы для проведения синтеза готовятся предварительно методом прессования. Исходные порошки подвергаются механоактивации для обеспечения стабильности СВС. Сам процесс инициируется разогревом локального объема, например, раскаленной электроспиралью на верхней части заготовки, после чего начинается экзотермическая реакция послойного горения заготовки (рисунок 3). Выделяющаяся при этом энергия идет на разогрев инертных в тепловом отношении добавок, таких как



быстрорежущая сталь, и инициацию реакции в химически активных элементах (соединении титана и углерода) [18].

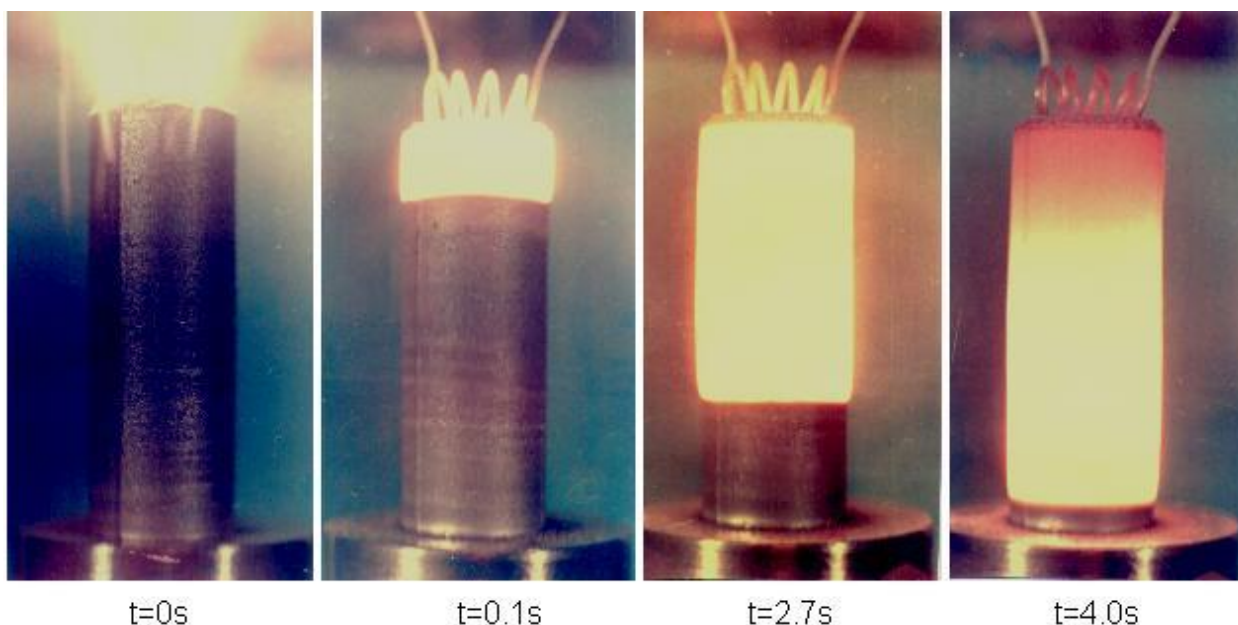


Рисунок 3. Пример образца и локальной инициации СВС

На СВС синтез оказывает влияние множество факторов, контролируемых перед началом реакции. Такими факторами являются:

- тепловой эффект реакции;
- состав и структура экзотермической смеси порошков;
- размер, плотность и начальная температура шихтовых образцов;
- состав и давление окружающего газа и др.

Основные преимущества технологии СВС перед другими технологиями заключаются в следующем: процесс является энергосберегающим, так как не требует предварительного нагрева после инициации и протекает за счет тепла, выделяемого в результате химической экзотермической реакции; характеризуется высокой производительностью, определяемой скоростью горения (порядка 10...30 мм/с); высокая чистота продуктов синтеза, обусловленная высокими температурами горения (2000...3000 °С и выше) и разложением и испарением примесей; возможность получения многокомпонентных соединений в одну стадию в

волне горения, использование технологически простого и малогабаритного оборудования [5].

Основной способ инициирования реакции СВС - локальное инициирование реакции на поверхности системы путем подвода кратковременного теплового импульса (электрическая спираль, электроискровой разряд, лазерный луч и др.) с формированием волны горения, и ее распространением по не нагретому исходному веществу (режим послойного горения). Для слабо экзотермических реакций или для смесей с большим содержанием инертных наполнителей для инициирования реакции синтеза необходим предварительный подогрев шихты в печи (рисунок 4). Шихта в СВС-процессах может находиться в вакууме, на открытом воздухе, в инертном или реагирующем газе под давлением.

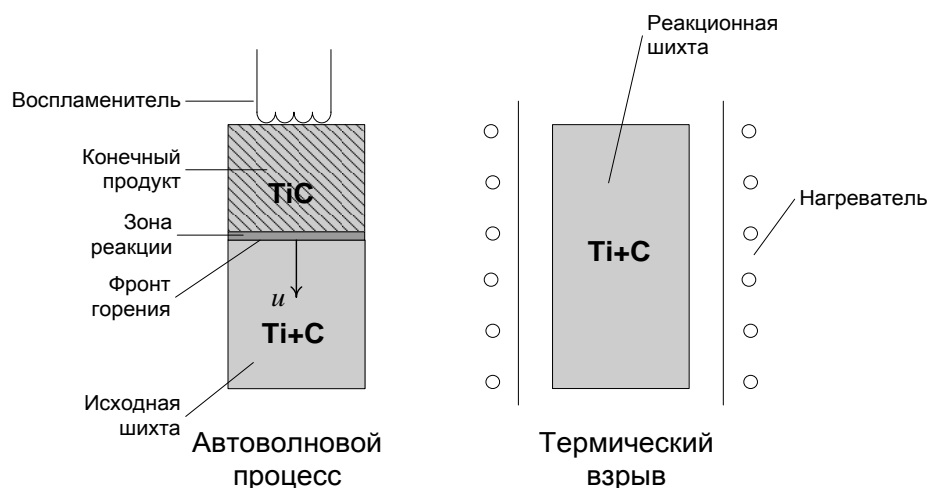


Рисунок 4. Способы инициирования реакции СВС (на примере  $TiC$ ).

В простейшем стационарном режиме горения все точки фронта движутся с постоянной во времени и одинаковой скоростью. Когда стационарный режим теряет устойчивость, возникают неустойчивые режимы распространения фронта: плоские автоколебания скорости фронта горения (пульсирующее горение); локализация реакции горения в очагах, движение фронта горения по винтовой траектории (спиновые волны); беспорядочное движение множества очагов горения. Волна горения не распространяется по шихте в случае сильных теплотерь в окружающую среду (высокое

содержание инертной добавки, малые диаметры шихтовых образцов, низкие адиабатические температуры взаимодействия реагентов).

В волне горения протекают различные химические, физические и физико-химические процессы, обеспечивающие в своей совокупности необходимое тепловыделение [19]. Волна имеет определенную протяженность и состоит из ряда зон:

- зона прогрева (реакции горения еще не протекают, а только осуществляется теплоперенос и нагрев шихты);
- зона реакции (протекают основные реакции горения, обеспечивающие необходимое тепловыделение);
- зона догорания (продолжаются химические реакции, но они уже не влияют на скорость распространения фронта);
- зона вторичных физико-химических превращений, определяющих состав и структуру конечных продуктов.

Реакция СВС характеризуется: скоростью распространения фронта (достигает нескольких сантиметров в секунду), максимальной температурой и темпом нагрева вещества в волне стационарного горения, пределом погасания (отсутствия горения при любых условиях инициирования), пределом потери устойчивости горения, глубиной химического превращения исходных реагентов в конечные продукты. Возможен также синтез в режиме термического взрыва, когда при нагреве реакционной смеси происходит ее самовоспламенение. При реакции синтеза в режиме теплового взрыва отсутствует волна горения с четко выраженным движущимся фронтом.

Таким образом представляется возможным синтезировать композиционные порошки на основе карбида титана с добавлением инертной связки с управляемыми свойствами. Такие порошки будут пригодны для использования при получении покрытий.

## **1.6. Методы получения покрытий.**

Нанесение покрытия с использованием композиционных порошков может быть произведено множеством способов – лазерной и электронно-лучевой наплавкой, плазменным и электродуговым напылением. В каждом методе устанавливаются конкретные требования к порошковым смесям, например по форме частиц, их дисперсности, сыпучести [20, 21]. Наибольший интерес среди известных методов нанесения покрытий вызывают методы электронно-лучевой наплавки и плазменного напыления.

ЭЛН - одна из перспективных среди энерго- и ресурсосберегающих технологий создания защитных покрытий. Источником экономии и повышения свойств инструмента является сочетание электроннолучевой технологии с возможностями порошковой металлургии. Метод дает возможность использовать в качестве основы углеродистые стали с наплавленным порошковым материалом поверхностным слоем. При этом стоимость порошковых материалов, как правило, значительно ниже стоимости твердосплавных пластин, а эксплуатационные свойства слоев, наплавленных методом ЭЛН, довольно высоки.

Технология электроннолучевой наплавки основана на явлении "вмораживания" порошка в жидкометаллическую ванну расплава. Ванну расплава создает электронный луч, развернутый в линию, расположенную поперек движения наплаваемого изделия. Порошок, подаваемый в жидкометаллическую ванну, ускоряет процесс ее кристаллизации, способствуя формированию мелкозернистой структуры. Валик из наплавленного материала формируется в результате нескольких проходов. Необходимая высота валика достигается путем изменения скорости подачи наплаваемого материала или увеличения числа проходов наплаваемой детали.

Таблица 2. Основные технические характеристики процесса ЭЛН.

Давление в рабочей камере	$5 \times 10^{-1}$ Па
Ускоряющее напряжение	до 30 кВ
Мощность электронного пучка	1-3,5 кВт
Установленная мощность	8 кВт
Коэффициент использования порошка	100%
Скорость наплавки	6 -10 г/мин
Длина наплавленных деталей	до 800 мм

Технологические особенности процесса ЭЛН обеспечивают рафинирование материала покрытия от легколетучих примесей, быстрая кристаллизация жидкометаллической ванны способствует формированию неравновесных фаз в структуре материала наплавки, которые образуются и сохраняются в наносимом покрытии. Для ЭЛН-технологии характерны полная утилизация наплавляемого порошка, минимальные поводки и коробления наплавляемой детали, экологическая безопасность.

Электроно – лучевой наплавке посвящено множество работ. Во многом от параметров нанесения покрытия зависят итоговые свойства наплавки. С одной стороны данная технология обеспечивает гибкое управление свойствами покрытия. Однако с другой стороны возникает необходимость в непрерывном контроле всех технологических параметров установки. Механизмы изменения свойств покрытий во многом также зависят от рода наплавляемого материала. Поэтому множество работ посвящено исследованию влияния электронного пучка на конкретных составах. В нашем случае представляют интерес исследования, посвященные наплавкам из быстрорежущей стали и композиционных порошков, содержащих металлическую связку и карбид титана.

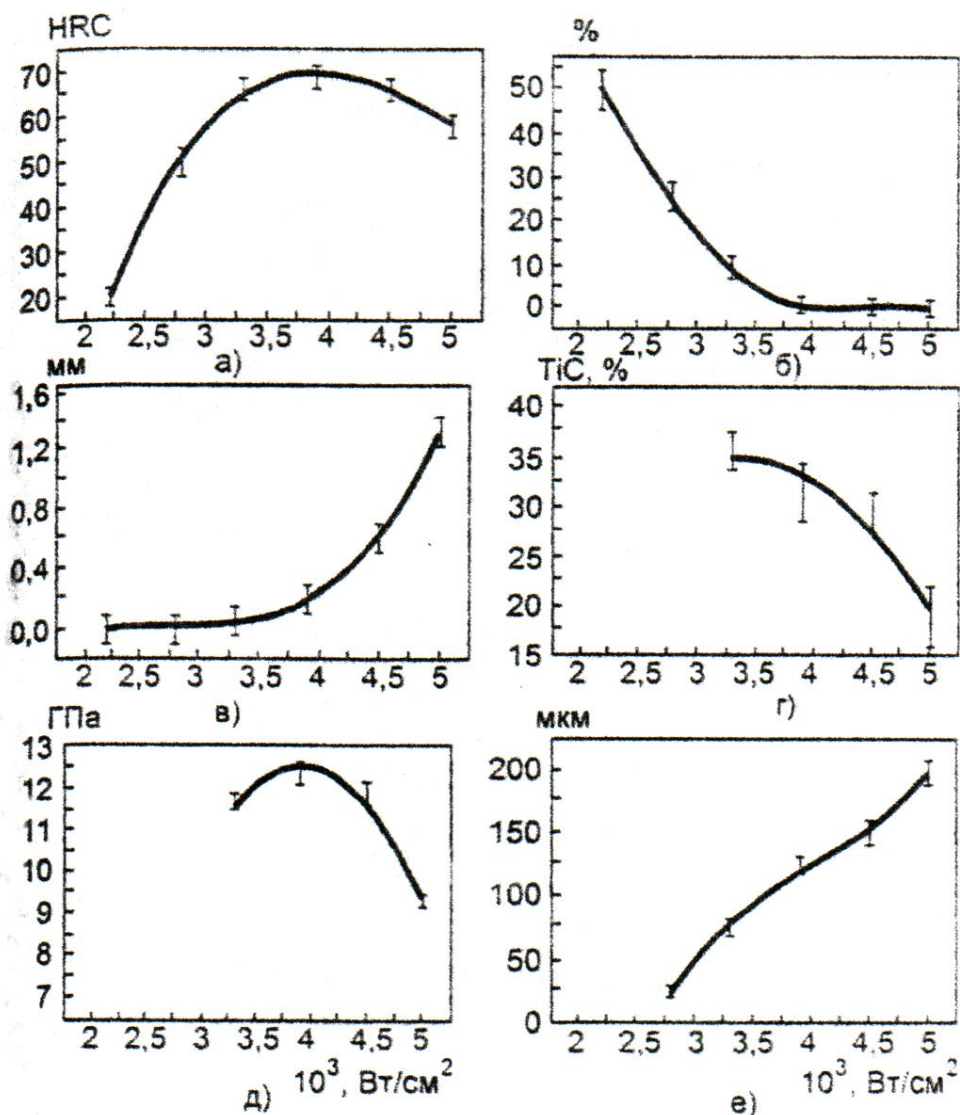


Рисунок 5. Зависимость свойств покрытий, полученных ЭЛН, от плотности мощности электронного пучка [20].

Авторами [20] показано на примере композита (35% TiC+ P6M5), что при постоянной толщине наплавки в 2 – 3 мм (четыре-пять проходов) в зависимости от плотности мощности электронного пучка изменяется твердость (а), пористость (б), глубина проплавления стальной подложки (в), количество карбидной упрочняющей фазы (г), микротвердость упрочняющей фазы (д) и ширину диффузионной зоны в подложке (е) (рисунок 5). Так, зависимость твердости покрытия имеет максимум при плотности мощности пучка в  $4 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/см}^2$ . Низкие значения твердости при малой плотности

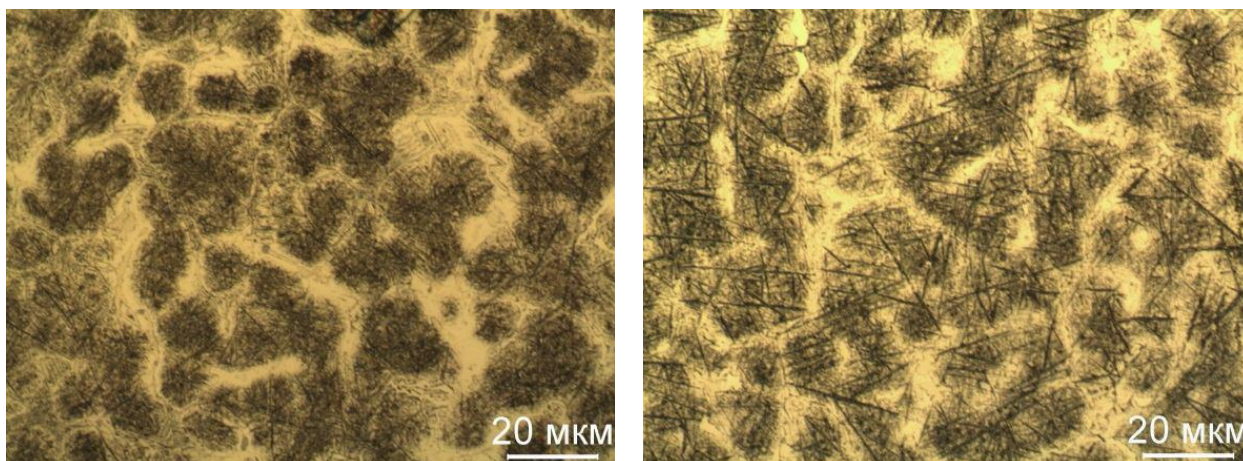
мощности обусловлены высокой пористостью покрытия вследствие неполного расплавления связки в частицах порошка. Глубина проплавления увеличивается в зависимости от мощности пучка. Вследствие этого уменьшается объемная доля карбида титана в покрытии и изменяется исходный химический состав металлической связки за счет её разбавления материалом подложки. Это снижает твердость покрытия. Ширина диффузионной зоны в подложке линейно растет с увеличением мощности.

В статье [22] показана зависимость структуры покрытий на основе стали Р6М5 от количества проходов. В качестве подложки использовались пластины стали 20 (рисунок 6).



Рисунок 6. Внешний вид пластин после наплавки в зависимости от числа проходов электронного луча [22].

С увеличением числа проходов наблюдалась мультимодальное распределение карбидов по размерам. Матрица представляла собой мартенситно-аустенитную смесь (рисунок 7).



а)

б)

Рисунок 9. Микроструктура покрытий в зависимости от числа проходов электронного луча: а – 9; б – 15 проходов [22].

Мартенситная фаза с увеличением числа проходов электронного луча становится более грубая (от мелкодисперсного (бесструктурного)) мартенсита (а) до крупных игл, распространяющихся через все аустенитное зерно (б). Доля мартенситной фазы возрастает с увеличением числа проходов, что, по мнению авторов, связано с термоциклированием покрытия. С ростом мартенситной фазы также растет и твердость покрытия от 5950 до 7700 МПа. Таким образом числом проходов можно изменять конечную твердость покрытия.

При наплавках композиционных порошков с чугушной связкой, где содержание углерода велико, в сравнении со стальными связками [23]. Составы с чугушной связкой, за исключением малого содержания связки (13 об. % ПГ-С27) хорошо наплавляются, что объясняется лучшей жидкотекучестью и относительно низкой температурой плавления связки. Абразивная износостойкость покрытий имеет максимум при объемном содержании чугушной связки в пределах 29...30 об. %. В статье [24] исследования по влиянию структуры композиционных покрытий на газообразивную стойкость были продолжены авторами уже на спеченных и наплавленных покрытиях.



Таким образом, имеются результаты исследования покрытий на основе металлических связей и влияние параметров технологического процесса нанесения покрытий на свойства продукта. Однако сочетание карбида титана с легированной инструментальной сталью изучено в основном на обычных механических смесях порошков. Представляет интерес провести исследование наплавов из СВС композиционных порошков TiC+P6M5 в широком диапазоне содержания связи.

Плазменное напыление покрытий производилось на универсальной плазменной установке УПУ-3д с местной защитой от воздуха. Универсальная плазменная установка УПУ-3д предназначена для нанесения износостойких, фрикционных, изоляционных и других специальных покрытий на поверхности деталей методом плазменного напыления порошковых материалов, а также материалов в виде проволоки. В качестве плазмообразующих газов могут применяться азот, аргон, гелий и смеси аргона или азота с водородом.

Современные покрытия наносятся с использованием частиц диаметром 1-15 мкм, допускается нанесение порошков дисперсностью до 100 мкм. Такая дисперсность порошков была непригодна для ЭЛН из-за особенности конструкции питателя. На УПУ-3д тарельчатый питатель позволяет напылять мелкую фракцию порошков сферической формы.

Известно [25], что при напылении карбида вольфрама в результате взаимодействия с расплавом металлической связи происходит деградация карбида. В случае термически более стабильного карбида титана ( $T_{пл} = 3073$  °С по сравнению с 2785 °С для WC) такого не наблюдается. Кроме того, установлено [26], что при плазменном напылении композиционных порошков на основе карбида титана с нихромовой связкой уменьшения содержания карбида титана не происходит. Наблюдается другая проблема – стехиометрический карбид порошковых смесей поглощает атмосферные газы

(кислород и азот) и обезуглероживается, что может регистрироваться по искажению параметра решетки карбида [11, 27].

## 2. Материалы и методы.

Пористые спеки СВС продукта с расчетным содержанием связки от 20 до 50 об. % получены послойным горением цилиндрических прессовок диаметром 20 и 35 мм. Из порошковых смесей титана (< 190 мкм), сажи П-803 (8 мкм) и стали ПР-10Р6М5 (< 90 мкм.). Порошок титана марки ТПП-8 содержал не менее 99,4 % основного компонента и примеси: железа – 0,33 %; хлора – 0,12%; кислорода – менее 0,1%. Стальной порошок содержал углерод в количестве 1%, легирующие элементы (Cr – 4%; W – 6,5%; Mo – 5%; V – 2%) и примеси (Si – 0,5 %; Mn – 0,55%; Ni – 0,4%). Смеси готовили сухим смешиванием порошковых навесок в течение 4 часов. Пористость прессовок составляла около 40%. Получить бóльшую пористость не удалось по причине недостаточной прочности прессовок. Синтез проводили в герметичном реакторе в среде аргона с избыточным давлением около 0,5 атм. Горение инициировали нагревом поджигающей таблетки молибденовой спирали. Состав приготовленных для СВС смесей приведен в таблице 3.

Таблица 3. Состав порошковых смесей для СВС синтеза.

	TiC+20%P6M5		TiC+30%P6M5		TiC+40%P6M5		TiC+50%P6M5	
	% вес.	г.	% вес.	г.	% вес.	г.	% вес.	г.
ТПП-8	56,63	226,5	46,86	187,44	38,09	152,4	30,18	120,7
Сажа П-803	14,16	56,6	11,71	46,84	9,52	38,1	7,55	30,2
P6M5	29,21	116,9	41,43	165,72	52,39	209,5	62,27	249,1
Всего	100	400	100	400	100	400	100	400

Поверхностный слой пористых спеков СВС продукта толщиной 1 - 2 мм. удаляли, а очищенный спек дробили с рассевом на фракции. Из полученной смеси отсеивалась фракция, пригодная для наплавки (315 - 125 мкм). Часть порошков заливалась эпоксидной смолой и полировалась.

Было приготовлено две партии наплавочных смесей с различным гранулометрическим составом композиционных добавок: 315 - 200 мкм и 200 - 125 мкм. Для формирования необходимой наплавочной ванны дополнительно вводился металлический порошок до объемного содержания связки в 80 об. %. Дисперсность стального порошка в наплавочных смесях оставалась постоянной на уровне 125 - 80 мкм. Составы порошковых смесей для наплавки приведены в таблице 4.

Таблица 4. Состав порошковых смесей для наплавки.

Порошок	Вес, г.			
	P6M5 (125 - 80 мкм)	81,4	46,5	43,4
TiC+20%P6M5	18,6			
TiC+30%P6M5		13,5		
TiC+40%P6M5			16,6	
TiC+50%P6M5				34,9

Блок-схема установки для наплавки износостойких покрытий показана на рисунке 8. и состоит из вакуумной камеры (1) с откачными средствами (2), механического манипулятора (3) с электроприводом, устройства (4) для дозированной подачи порошкового материала в зону расплава, электронного источника (5) и схем его электропитания (энергокомплекса). В состав энергокомплекса входят блок питания разряда (6), высоковольтный блок (7), блоки питания фокусирующей катушки и отклоняющей системы (8).

Порошковый дозатор 4 обеспечивает стабильную подачу наплавляемого материала в зону действия электронного луча, а блок управления разверткой формирует луч в виде одной или нескольких линий поперёк продольного движения наплавляемого изделия.

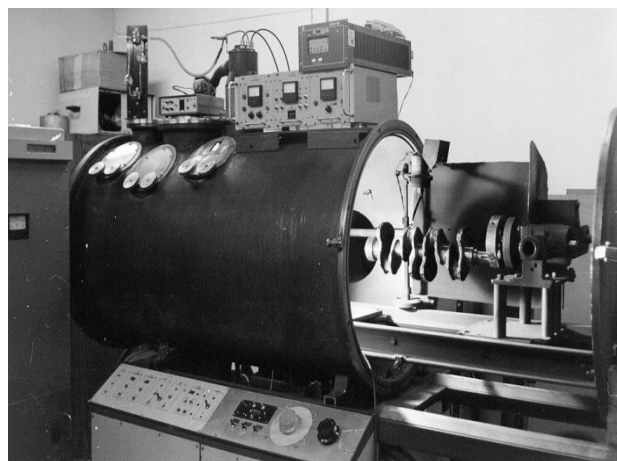
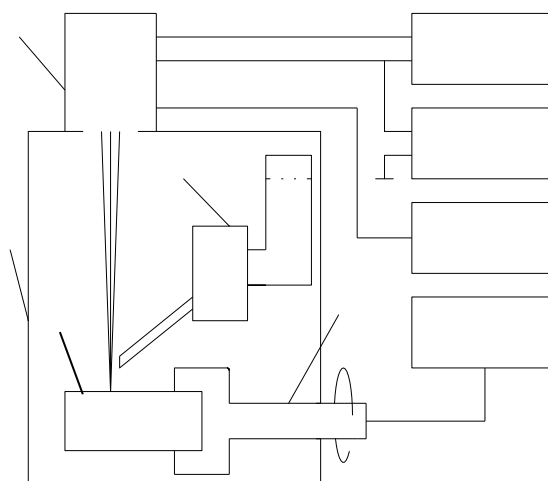


Рисунок 8. Функциональная схема установки электроннолучевой наплавки "ЛУНА-1": 1 – вакуумная камера; 2 – вакуумная станция; 3 – манипулятор; 4 – порошковый дозатор; 5 – электронный источник с плазменным эмиттером; 6 – блок питания разряда; 7 – высоковольтный блок; 8 – блок фокусировки и развертки луча; 9 – наплавляемая деталь; 10 – катушки фокусировки и развертки луча [20].

Наплавка производилась на подложки из малоуглеродистой стали толщиной 4 мм при следующих режимах: ускоряющее напряжение 27 кВ, ток луча до 100 мА, амплитуда сканирования непрерывного электронного луча – 20 мм, скорость продольного перемещения подложки – 3 мм/сек. Скорость подачи порошкового наплавочного материала в зону наплавки – 50 г/мин.

Плазменное напыление осуществлено на универсальной плазменной установке УПУ-3д с местной защитой от воздуха при следующих режимах: расход плазмообразующего газа Ar-N<sub>2</sub> 36,5 л/мин, ток дуги плазмотрона 350А и напряжение 52 В. Порошок 50об. % TiC- P6M5 фракции 25-55 мкм подавали в плазмотрон из тарельчатого порошкового питателя при расходе 21 г/мин. Покртия толщиной 0,5 мм напыляли на обечайку из нержавеющей стали толщиной 3 мм диаметром 60 мм, шириной 20 мм. Скорость вращения 200 об/мин, скорость перемещения вдоль образующей цилиндрической подложки 200 мм/мин. Напыление производили на подогретую в печи до

300°С подложку. Образцы после напыления охлаждались в этой же печи до комнатной температуры для уменьшения уровня остаточных напряжений.

Полученные образцы были исследованы на оборудовании Центра коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН методом рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-7, Буревестник, Россия), оптической металлографии (AXIOVERT-200MAT, Zeiss, Germany) и растровой электронной микроскопии (EVO 50, Zeiss, Germany). Для получения оптических фотографий изготавливались металлографические шлифы на специализированном станке (Saphir 720, Германия). Все шлифы предварительно осматривались на инвертированном металлографическом микроскопе МИМ-9.

Исходные порошки заливались эпоксидной смолой и далее шлифовались. Пластины с наплавкой распиливались на образцы 15x20мм и подвергались испытаниям на износ. Остатки от пластин заливались в эпоксидную смолу для полирования на оптические фотографии. Шлифование проходило поэтапно:

- 1) Шлифовка на грубой шкурке – 10 минут, нагрузка 40Н, скорость вращения 310 об/мин, охлаждение водой.
- 2) Алмазная паста, фракция 14-10 мкм. – 10 минут, 30Н, 400об/мин.
- 3) Алмазная паста, фракция 5-3 мкм. – 10 минут, 30Н, 450 об/мин.
- 4) Алмазная паста, фракция 1-0 мкм – 10 минут, 30Н, 500 об/ мин.

Все полученные шлифы осматривались на наличие крупных царапин и при необходимости операция повторялась. Шлиф травился до выявления карбидной структуры при помощи 4% спиртового раствора азотной кислоты [9].

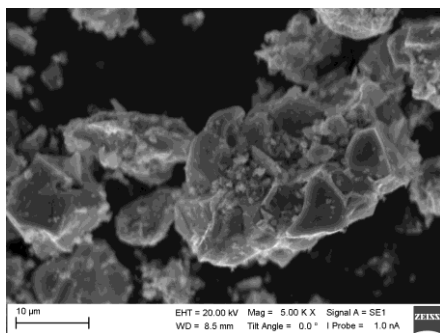
Испытания на абразивный износ произведены по ГОСТ 23.208—79 «Метод испытания на абразивный износ при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы» [28]. В качестве абразива использовался электрокорунд № 16-II зернистостью 160 – 200 мкм.

### **3. Результаты работы**

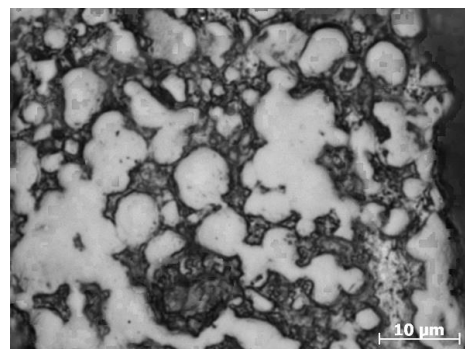
#### **3.1. Композиционные порошки TiC+P6M5**

Результаты оптической и растровой электронной микроскопии шлифов композиционных порошков приведены на рисунке 9.

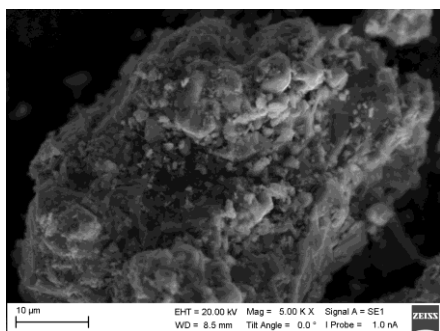




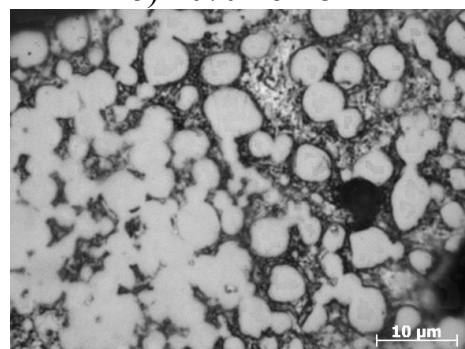
а) 20% P6M5



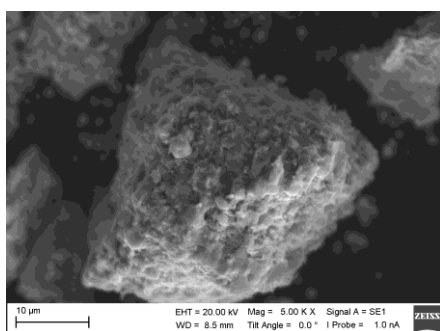
б) 20% P6M5



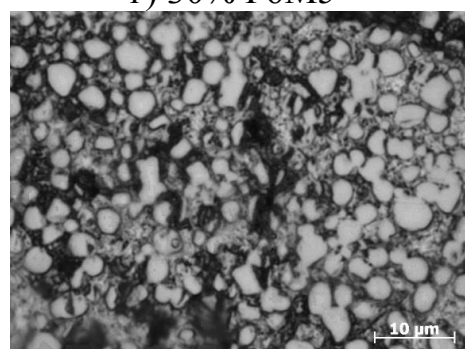
в) 30% P6M5



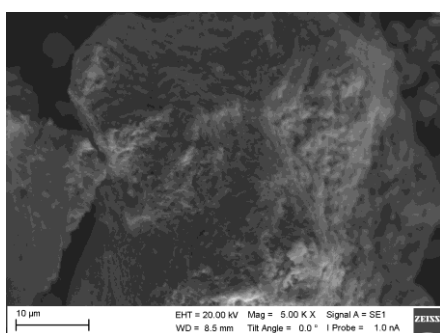
г) 30% P6M5



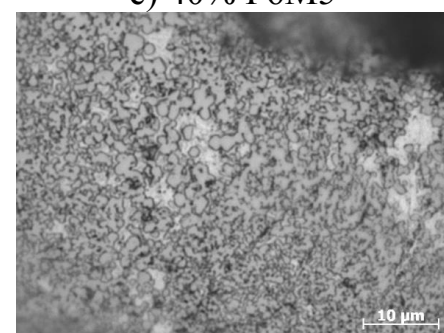
д) 40% P6M5



е) 40% P6M5



ж) 50% P6M5



з) 50% P6M5

Рисунок 9. Морфология (а, в, д, ж) и внутренняя структура (б, г, е, з) гранул композиционного порошка с объемным содержанием связки: 20 % (а, б); 30 % (в, г); 40 % (д, е); 50 % (ж, з).

На оптических фотографиях с протравленных металлографических шлифов порошков, залитых в эпоксидную смолу (рисунок 9 б, г, е, з), видим, что включения карбида титана имеют округлую форму и представлены в структуре композита либо в виде изолированных частиц, либо образуют сrostки из смежных частиц.

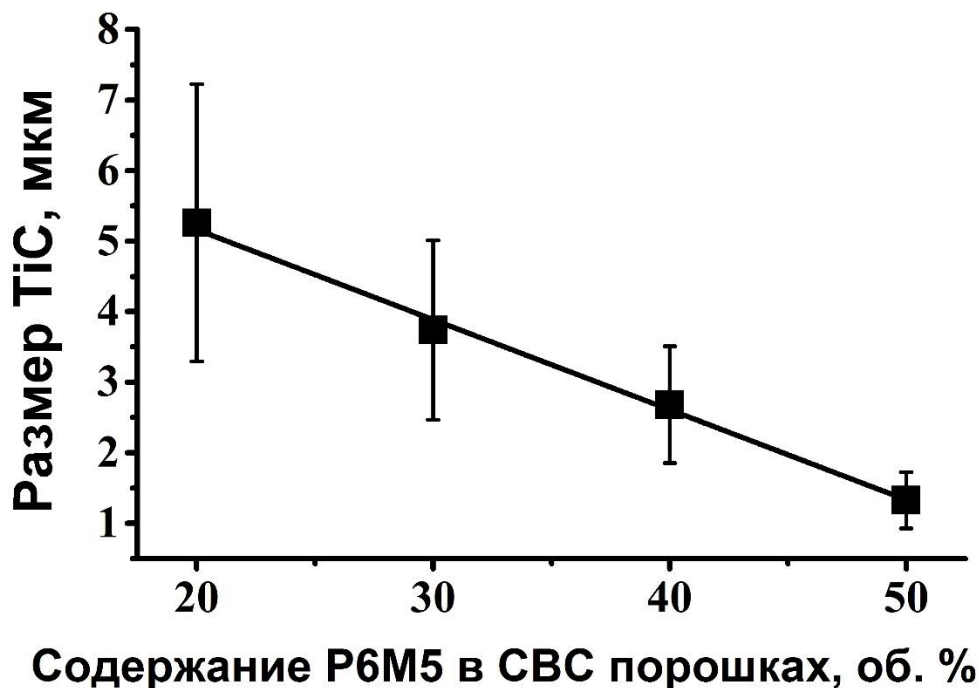


Рисунок 10. Зависимость среднего размера карбидных частиц от расчетного объемного содержания стальной связки.

По полученным фотографиям была определена дисперсность карбидной фазы, которая монотонно уменьшается с увеличением содержания стального порошка в реакционных смесях от  $5,3 \pm 2,0$  в композите с 20 % связки до  $1,3 \pm 0,4$  % при 50 % (рисунок 10). По мере увеличения среднего размера частиц увеличивается разброс. Он особенно велик в композите с 20% связки. Фактически в этом композите карбидная фаза имеет бимодальное распределение по размерам.

Рентгенограммы с продуктов синтеза приведены на рисунке 11. Объектом съемки были порошки дисперсностью менее 56 мкм. Режим съемки:  $\text{CuK}\alpha$  – излучение, шаг  $0.05^\circ$ , время экспозиции 5 сек.

Идентификация фаз была проведена с использованием картотеки рентгеновских данных ASTM. Содержание фаз в СВС-композитах (таблица 5) оценивали по площади под пиками.

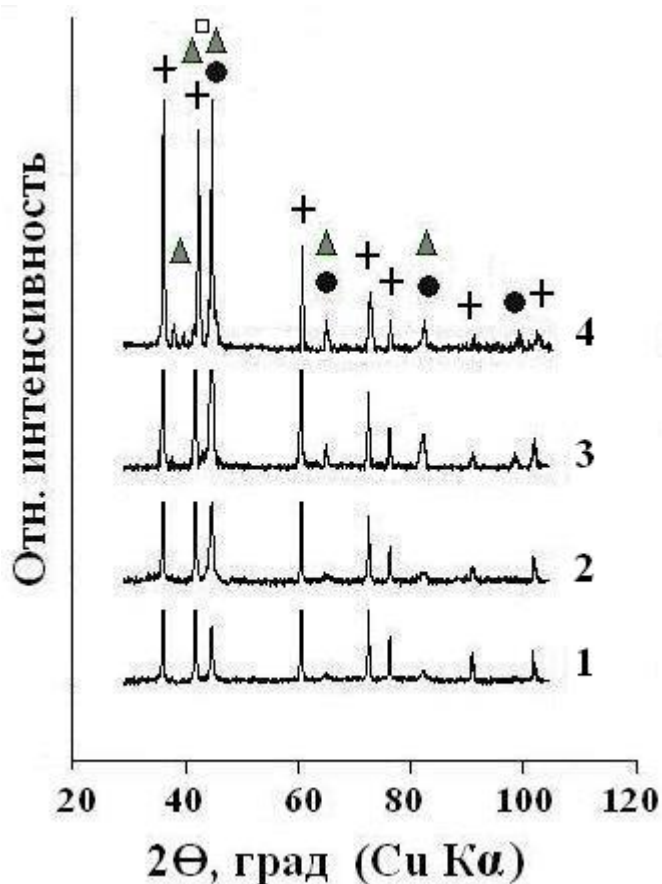


Рисунок 11. Рентгенограммы СВС композиционных порошков TiC+ (20 ÷ 50) об. % P6M5. Расчетное содержание связки в композитах (об. %): 1 - 20; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 50. Обозначения: + - TiC; ● - α-Fe; □ - γ-Fe; ▲ - Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.

В таблице 5 приведен также фазовый состав исходного стального порошка. Видим, что по мере увеличения содержания стального порошка в реакционных смесях уменьшается содержание карбида в СВС продукте. При этом фазовый состав стальной связки в СВС композитах отличается от фазового состава исходного стального порошка. Связка состоит исключительно или в основном (для состава с расчетным содержанием 50об. %) из α-фазы (феррит), в то время как исходный стальной порошок содержит значительное количество аустенита и карбида хрома.

Таблица 5. Относительное содержание (%) и параметры решеток фаз

Порошки	TiC		$\alpha$ -Fe		$\gamma$ -Fe		Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
	%	a, нм.	%	a, нм.	%	a, нм.	%
Без термообработки							
TiC+20%P6M5	86.0	0.4323	14.0	0.2872			
TiC+30%P6M5	76.6	0.4322	23.4	0.2872	-	-	
TiC+40%P6M5	61.8	0.4322	38.2	0.2873	-	-	
TiC+50%P6M5	52.0	0,4322	36.7	0,2880	4,5	0,3585	6,8
ПР-10P6M5	-	-	71,3	0,2884	17,2	0,3640	11,4
После вакуумного отжига в течение 1 часа							
ПР-10P6M5 (700 °С)	-	-	99,3	0,2867	0,7	?	-
TiC+40% P6M5 (700 °С)	60.1	0,4309	39,9	0.2865			
TiC+50%P6M5 (600 °С)	48,3	0,4312	51,7	0,2869	-	-	-

Для того, чтобы выяснить причины такого различия фазового состава исходного стального порошка и стальной связки в композитах, был проведен дополнительный фазовый анализ после отжига порошков. В отожженном при 700 °С стальном порошке не обнаружено карбида хрома, а содержание аустенита ничтожно мало. В процессе отжига стального порошка, полученного быстрым охлаждением из расплава, происходит распад остаточного аустенита и карбида хрома, а параметр решетки феррита уменьшается. Одновременно уменьшаются микроискажения кристаллической решетки с  $4,3 \times 10^{-3}$  до  $2,6 \times 10^{-3}$  и увеличивается размер областей когерентного рассеяния с 18,5 до 29,7 нм.

Аналогичные изменения фазового состава стальной связки и параметра решетки феррита произошли при отжиге в композите TiC+50 об. % P6M5. В композите TiC+40 об. % P6M5 фазовый состав стальной связки при отжиге не изменился, но параметр решетки феррита также уменьшился и оказался близким к параметру решетки феррита в отожженном стальном порошке. Так же как и в стальном порошке в стальной связке композитов двух исследованных составов при отжиге уменьшаются микроискажения кристаллической решетки в 3,8 – 1,4 раз и увеличивается размер областей когерентного рассеяния в 2,1 – 1,2 раза.

Причиной уменьшения параметра решетки феррита при отжиге, по-видимому, является приближение концентрации легирующих элементов к равновесным значениям. Известно [29], что все легирующие элементы (W, Cr, Mo, V) увеличивают параметр решетки феррита. Так как исходный стальной порошок получен распылением расплава, а охлаждение продуктов после синтеза также достаточно быстрое, то стальной порошок и стальная связка в СВС композитах содержат сверхравновесные концентрации легирующих элементов. Аналогичные изменения фазового состава и параметра решетки феррита при отжиге в стальном порошке и в стальной связке композитов с 40 и 50 об. % Р6М5, а также близкие значения параметра решетки феррита после отжига позволяют предполагать, что элементный состав связки в композитах мало отличается от элементного состава исходного стального порошка.

Карбид титана во всех исследованных СВС композитах имеет параметр решетки  $a = 0,4322$  нм. Это значение меньше, чем известное  $a = 0,4328$  нм для карбида эквиатомного состава и может служить признаком нестехиометричности карбида титана в СВС продуктах либо быть следствием растворения в карбиде кислорода, азота и металлов, образующих связку [11, 12].

Определить элементный состав металлической связки методом точечного микрорентгеноспектрального анализа не представляется возможным либо по причине ее малого содержания, либо из-за высокой дисперсности структуры композита. Поэтому определяли элементный состав продуктов синтеза, усредняя значения в контурах, охватывающих отдельные гранулы композиционного порошка. Усреднение проводили не менее чем по 5 контурам (рисунок 12 а). Таким образом, были проанализированы композиционные порошки всех исследованных составов с расчетным содержанием связки 20, 30, 40 и 50 об. %.

Элементный состав карбида титана был определен для композита только одного из четырех составов (TiC+20 об. % Р6М5). В этом композите размер карбидных частиц был достаточным для определения локального состава в точках на обнаженной поверхности крупных частиц (рисунок 12 б).

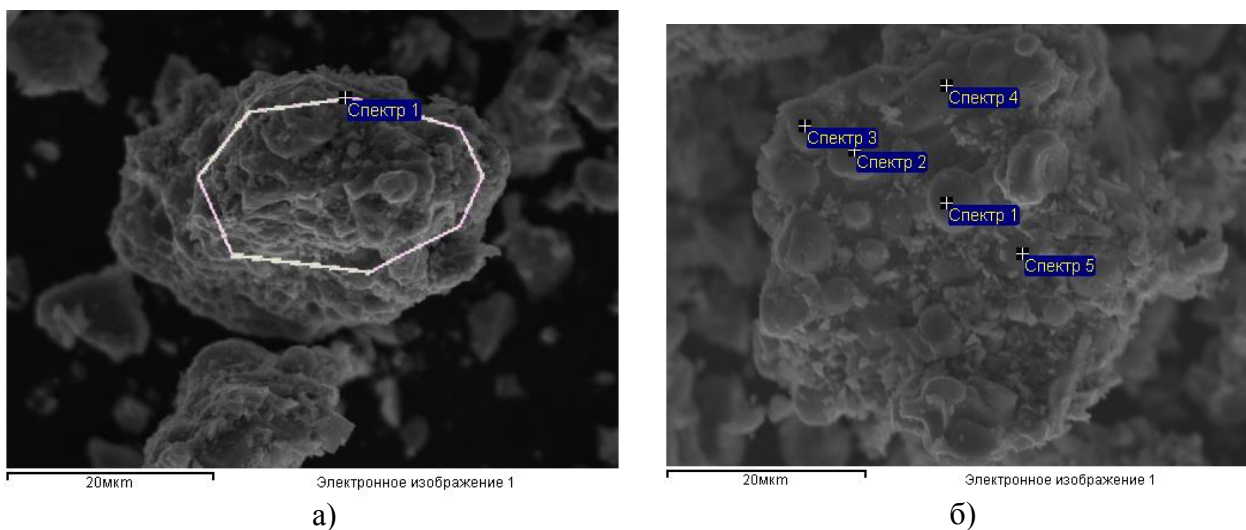


Рисунок 12. Определение элементного состава в оконтуренных областях (а) и в карбидных включениях (б) СВС композиционных порошков TiC+20 об. % Р6М5

Элементный состав продуктов синтеза в разных контурах композиционного порошка одного состава сильно различался, что является следствием большой неоднородности продуктов синтеза, образующихся в неравновесных условиях. Содержание железа и легирующих элементов при этом было примерно пропорциональным их содержанию в стали Р6М5. Сомнительным кажется большое содержание кислорода во всех исследованных СВС продуктах (3 – 5 масс. %), так как номинальное содержание кислорода в исходных порошках не превышало 0,1 %, а синтез проводили в инертной атмосфере.

Результаты определения элементного состава карбидных частиц методом локального анализа приведены в таблице 6. Характерно, что согласно результатам анализа кислород отсутствует в карбидной фазе композита. Таким образом, из сопоставления результатов определения

кислорода в карбидных частицах и в многокомпонентных гранулах можно предполагать, что кислород находится в виде дисперсных оксидных фаз, которые не выявляются рентгенофазовым анализом. Менее вероятно нахождение кислорода в растворенном виде в феррите, так как растворимость кислорода  $\alpha$ -Fe ничтожно мала, а ожидать значительного увеличения растворимости кислорода легирующими элементами нет оснований по причине малого их содержания в феррите.

Таблица 6. Элементный состав включений карбида титана в СВС композите TiC+20 об % P6M5

Элемент	Ti	C	Fe	Cr	Mo	W
Масс. %	76,5±4,5	16,0±3,7	1,6±1,2	0,5±0,2	1,8±1,4	3,9±2,2
Ат %	54,8±6,8	45,0±7,3	0,95±0,67	0,34±0,17	1,00±0,54	0,72±0,437

Атомное содержание углерода в карбиде титана, рассчитанное по результатам микрорентгеноспектрального анализа, соответствует стехиометрической формуле  $TiC_{0,82}$ . Это значение стехиометрического коэффициента в формуле карбида титана отличается от величины 0,72 [11, 13], рассчитанной по приведенному выше параметру решетки в предположении, что уменьшение параметра решетки обусловлено только нестехиометричностью карбида. Это различие может быть вызвано изменением параметра решетки карбида вследствие замещения части узлов в подрешетке титана другими металлическими атомами, которые, согласно результатам элементного анализа, в небольшом количестве (в пределах 1 ат. %) содержатся в карбидных включениях.

На рисунке 13 приведены результаты измерения микротвердости гранул композиционных порошков, залитых в эпоксидную смолу.

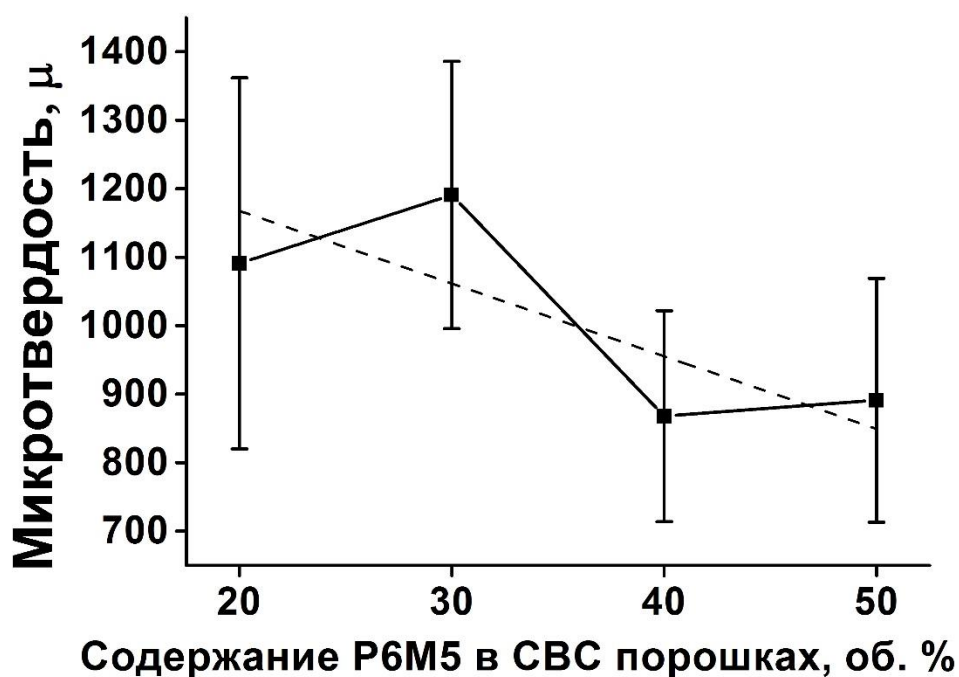


Рисунок 13. Зависимость микротвердости СВС композиционных порошков от объемного содержания стальной связки.

Несмотря на значительный разброс значений микротвердости, который объясняется влиянием пор внутри гранул, имеется тенденция к понижению микротвердости гранул с увеличением содержания стальной связки в гранулах. Появление слабо выраженного локального максимума при 30 об % P6M5 объясняется влиянием на микротвердость двух противоположно действующих факторов: увеличение содержания в гранулах менее твердой, чем карбид титана, стальной связки понижает твердость, а уменьшение среднего размера карбидных включений – повышает твердость гранул.

### 3.2. Электронно-лучевые накладки TiC+P6M5.

Данными порошковыми смесями по методике, описанной ранее, были получены электронно-лучевые накладки. Покрытия имеют толщину 2 – 5 мм (в зависимости от числа проходов). В основном объеме (вне переходной зоны покрытие – подложка) структура покрытия включает гранулы композиционного порошка и отдельные карбидные частицы в стальной



связке. Таким образом, при использованных нами режимах наплавки композиционные покрытия имеют структуру с двумя разномасштабными упрочняющими элементами: гранулы размером в основном более 100 мкм и отдельные карбидные включения в стальной матрице (рисунок 14).

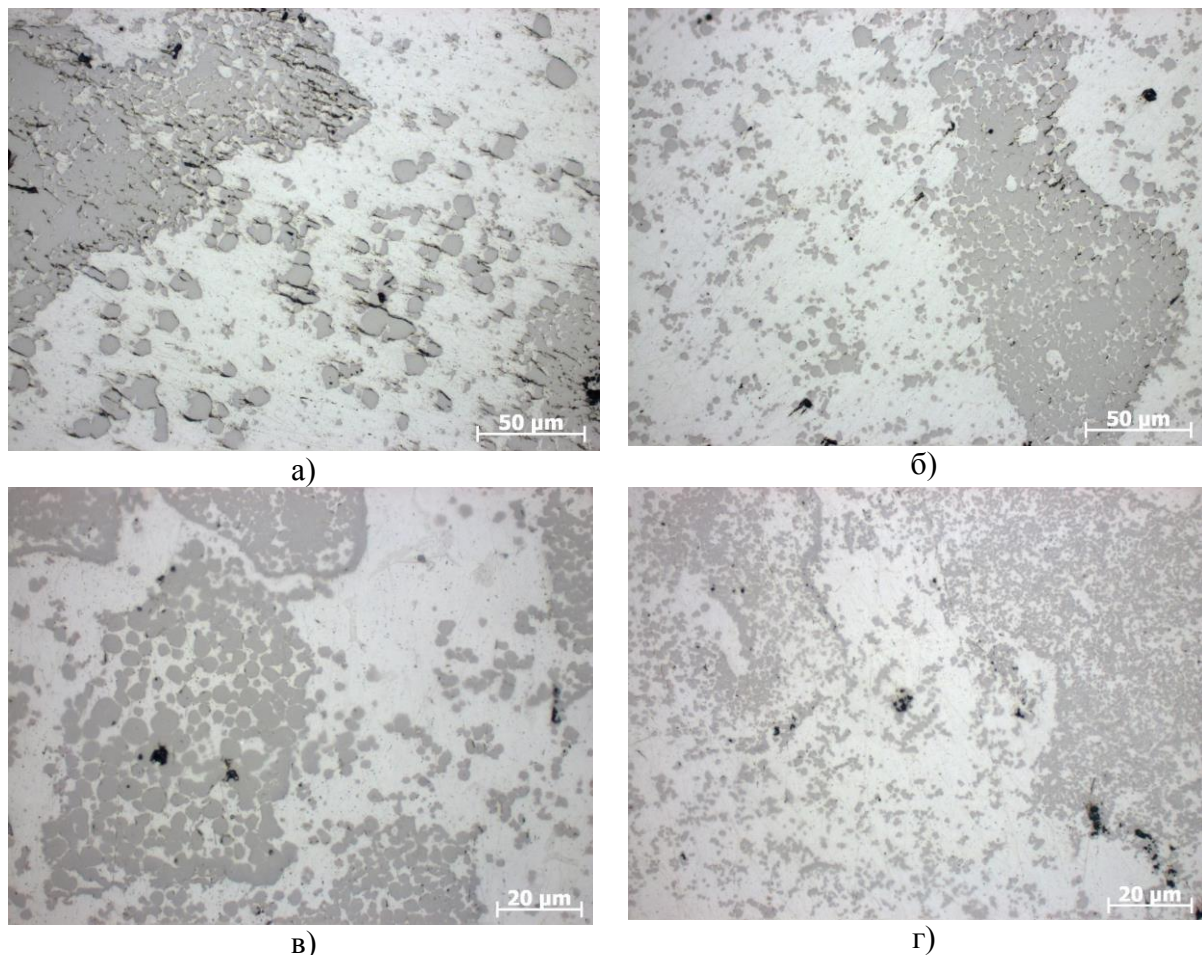


Рисунок 14. Микроструктура наплавки композиционными порошками с содержанием стальной связки (об. %): а) – 20 %; б) – 30 %; в) – 40 %; г) – 50 %;

При небольшом содержании стали Р6М5 от 20 до 40% в СВС-композитах на рентгенограммах присутствуют линии карбида титана и  $\alpha$ -Fe. При максимальном содержании (50%) Р6М5 на рентгенограмме появились линии карбидов  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ (11-550) и орторомбического карбида железа (3-400), а также окислов титана (таблица 7, строка 5). В строке 4 приведены фазы, за исключением окислов титана. Смесь с максимальным содержанием стали не смогли поджечь для проведения синтеза, потребовалось провести

предварительную механическую активацию. Поэтому значительно изменился фазовый состав композита. Повторная съемка СВС порошка TiC+50%P6M5 показала наличие карбида Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> и γ- Fe(в небольшом количестве) в дополнение к основным фазам: карбиду титана и α-Fe.

Наиболее интенсивные линии на рентгенограммах СВС-порошков относятся к карбиду титана (32-1383), параметр решетки карбида титана во всех композитах с разным содержанием стали практически не меняется (таблица 7). Линии карбида титана немного смещены от стандартного положения, его нестехиометричность оценивали по литературным данным [11, 30].

Таблица 7. Ориентировочное содержание фаз в СВС-композитах

№	СВС-композит	TiC	α-Fe	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	γ- Fe
1	TiC+20%P6M5	86.0	14.0	-	
2	TiC+30%P6M5	76.6	23.4	-	
3	TiC+40%P6M5	61.8	38.2	-	
4	TiC+50%P6M5	52.0	36.7	6.8	4.5
5	TiC+20%P6M5наплавка (+исп. Износ)	31.2	57.4	4.1	7.3
6	TiC+30%P6M5наплавка	42.8	32.9	4.6	19.7
7	TiC+40%P6M5 наплавка	54.6	21.6	0.9	22.9
8	TiC+50%P6M5 наплавка (+износ исп.)	25.5	66.1	1.4	7.0
9	P6M5, исходный порошок	-	45	1.8	53

Линии α-Fe в СВС-композитах находятся в небольшом смещении от линий чистого железа (6-696) a=0.2865 нм, ближе к линиям фазы Fe-Cr (34-396) a=0.2875 нм. Наличие хрома в быстрорежущей стали P6M5 приводит к такому смещению линий железа. Параметр решетки α-Fe остается практически постоянным в СВС-композитах TiC+20 - 40 об. % P6M5 (таблица 8). Параметр решетки α-Fe в исходном стальном порошке немного больше, при СВС происходит изменение его легированности. После наплавки параметр решетки α-Fe увеличивается и на чистом порошке P6M5, и на СВС-композитах.

Таблица 8. Параметры решетки, ОКР и микронапряжений карбида титана.

СВС-композит	TiC <sub>x</sub>	X [1]	X[2]	ОКР, нм	Микронапряжения
TiC+20%P6M5	0.4323	0.75	0.72	58.4	7,09*10 <sup>-4</sup>
TiC+30%P6M5	0.4322	0.74	0.71	56.2	8,2*10 <sup>-4</sup>
TiC+40%P6M5	0.4322	0.74	0.71	41.0	1,54*10 <sup>-3</sup>
TiC+50%P6M5	0.4322	0.74	0.71	37.6	6.1*10 <sup>-4</sup>
TiC+20%P6M5 наплавка	0.4318			30.7	1.2*10 <sup>-3</sup>
TiC+30%P6M5 наплавка	0.4321			26.1	2.5*10 <sup>-3</sup>
TiC+40%P6M5 наплавка	0.4317			23.3	7.8*10 <sup>-3</sup>
TiC+50%P6M5 наплавка	0.4320			33.8	4.8*10 <sup>-3</sup>

Таблица 9. Параметры решетки, ОКР и микронапряжений железа.

СВС-композит	α-Fe			γ-Fe		
	Параметр решетки	ОКР, нм	Микронапряжения	Параметр решетки	ОКР, нм	Микронапряжения
TiC+20%P6M5	0.2872	21.3	4.1*10 <sup>-3</sup>			
TiC+30%P6M5	0.2872	15.0	6.3*10 <sup>-3</sup>			
TiC+40%P6M5	0.2873	18.7	5.3*10 <sup>-3</sup>			
TiC+50%P6M5	0.2880	22.5	1.4*10 <sup>-3</sup>	0.3585(по 1 линии)		
TiC+20%P6M5 наплавка	0.2882	17.6	5.8*10 <sup>-3</sup>	0.3607	16.3	-
TiC+30%P6M5 наплавка	0.2879	17.4	2.3*10 <sup>-3</sup>	0.3615	16.1	5.9*10 <sup>-4</sup>
TiC+40%P6M5 наплавка	0.2881	16.5	3.7*10 <sup>-3</sup>	0.3593	17.4	1.4*10 <sup>-3</sup>
TiC+50%P6M5 наплавка	0.2884	19.7	1.7*10 <sup>-3</sup>	0.3600	5.3	2.3*10 <sup>-3</sup>
P6M5 порошок	0.2884	18.5	4.3*10 <sup>-3</sup>	0.3640	17.9	2.4*10 <sup>-3</sup>
P6M5 наплавка	0.2892	12.7	6.4*10 <sup>-3</sup>	0.3630	15.2	5.4*10 <sup>-3</sup>
Fe (6-696)	0.2865					
Fe-Cr(34-396)	0.2875					
(Fe,C)(31-619)				0.3596		

Таблица 10. Ориентировочное содержание фаз в порошке и наплавке P6M5 (по сумме площадей).

Объект	α-Fe	γ-Fe	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
P6M5 порошок	71.3	17.2	11.4
P6M5 наплавка	67.2	24.8	8.0

Фазовый состав при наплавке порошка Р6М5 не изменился, присутствуют три фазы -  $\alpha$ -Fe,  $\gamma$ -Fe и  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ . Произошло небольшое уменьшение количества карбида  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ . Значительный разогрев порошка при электродуговой наплавке приводит к растворению карбидов. Часть хрома и углерода могла раствориться в твердых растворах железа. Об этом свидетельствует изменение параметров решетки  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железа. Микронапряжения в наплавке увеличились в полтора-два раза по сравнению с исходным порошком. При наплавке произошло заметное уменьшение ОКР железа (двух модификаций). Причина уменьшения ОКР и увеличения микронапряжения – бóльшая возможность релаксации напряжений в пористом СВС спеке, чем в массивной наплавке, в которой к тому же остаются напряжения первого рода вследствие различия коэффициентов термического расширения наплавки и подложки.

Можно предполагать, что при одинаковом интегральном содержании стальной связки в наплавленных покрытиях (80 об. %) на твердость и износостойкость могут влиять такие структурные характеристики, как объемное содержание и средний размер нераспавшихся гранул, объемное содержание и средний размер отдельных карбидных включений в стальной связке. Мы наплавляли два вида покрытий одинакового состава, но отличающихся дисперсностью композиционных порошков в наплавляемых порошковых смесях. Металлографическое исследование наплавленных покрытий показало, что средний размер нераспавшихся гранул в наплавленных покрытиях зависит как от исходного размера гранул композиционных порошков, так и от содержания стальной связки в гранулах (рисунок 15). Средний размер гранул во всех наплавках уменьшается по сравнению с размером композиционных порошков в наплавляемых смесях. Это можно объяснить диссоциацией наружной части гранул за счет расплавления связки в периферийном слое с высвобождением карбидных частиц.

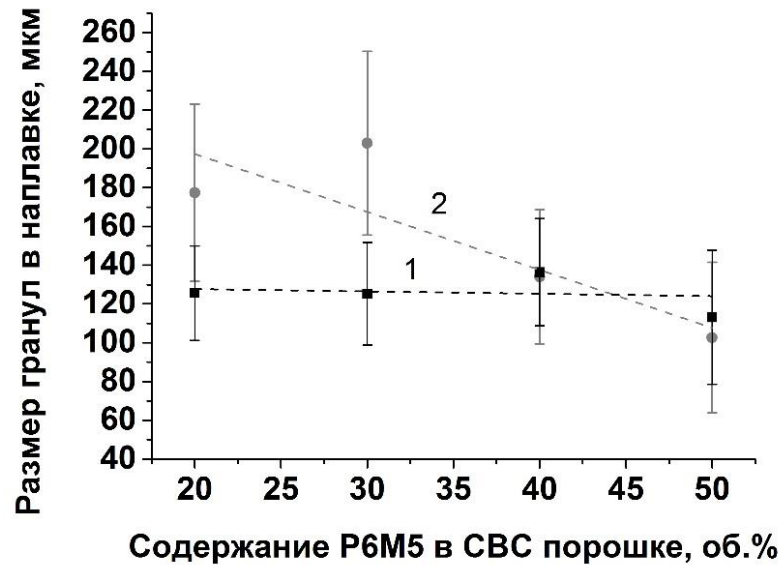


Рисунок 15. Зависимость среднего размера гранул в наплавках композиционными порошками различной дисперсности от содержания стальной связки в гранулах. Исходный размер гранул композиционного порошка: 1: 125 – 200 мкм; 2: 200 – 315 мкм.

Среднее значение размера гранул в наплавках крупным порошком (315 – 200 мкм) уменьшается с увеличением содержания связки в композиционных порошках. Это объясняется тем, что, чем больше стальной связки в грануле, тем более толстый слой на периферии гранул диссоциирует из-за расплавления связки, скрепляющей карбидные частицы в гранулах. Средний размер гранул в наплавках мелким порошком (200 – 125 мкм) в пределах разброса остается постоянным на уровне нижнего предела (125 мкм) наплавляемых порошков, так как из-за большего прогрева мелких гранул и большей степени их полной диссоциации, размер гранул в наплавках становится менее чувствительным к содержанию связки в гранулах.

Происхождение отдельных карбидных включений в стальной связке может быть двояким. Основная доля из них находилась в периферийной части гранул и освободилась в результате расплавления стальной связки, скрепляющей карбидные зерна внутри гранул. Другая, меньшая доля

карбидных включений, выпала при кристаллизации из жидкометаллического раствора, который оказался пересыщенным углеродом и титаном в результате растворения в расплаве наплавочной ванны карбидов, высвободившихся из периферийной области гранул. Эти вторичные карбиды кристаллизационного происхождения имеют вытянутую дендритную форму и наиболее многочисленны в наплавке композиционным порошком с 50 об % связки. Объемная доля вторичных карбидов тем больше, чем больше концентрация титана и углерода в наплавочной ванне. Эта концентрация, в свою очередь, тем больше, чем больше удельная (на единичный объем карбидной фазы) площадь межфазной границы карбид – расплав, через которую происходит растворение карбидов, то есть чем мельче карбидные частицы в гранулах композиционных порошков.

Средняя твердость покрытий, наплавленных смесями с мелкими композиционными порошками, увеличивается с увеличением содержания связки в мелких гранулах композиционного порошка (рисунок 16 а). Разброс в значениях твердости покрытий, наплавленных крупным порошком, значительно больше, чем в покрытиях, наплавленных мелким порошком и определенной зависимости их твердости от содержания связки нет. Характерно, что твердость покрытия, наплавленного стальным порошком, находится примерно посередине интервала, в котором изменяется твердость покрытий, наплавленных композиционными порошками. Таким образом, из-за эффекта самозакалки стали Р6М5 введение карбида титана мало влияет на твердость композиционных покрытий, в отличие от его влияния на абразивную износостойкость (рисунок 16 б). Износостойкость композиционных покрытий, наплавленных крупными порошками, выше износостойкости покрытий Р6М5 в 2,3 раза, а для покрытий, наплавленных мелкими порошками – примерно в 4,7 раз. О причинах такой зависимости износостойкости от дисперсности наплавляемого порошка, а также о

механизме износа можно судить по виду изношенных поверхностей (рисунок 17).

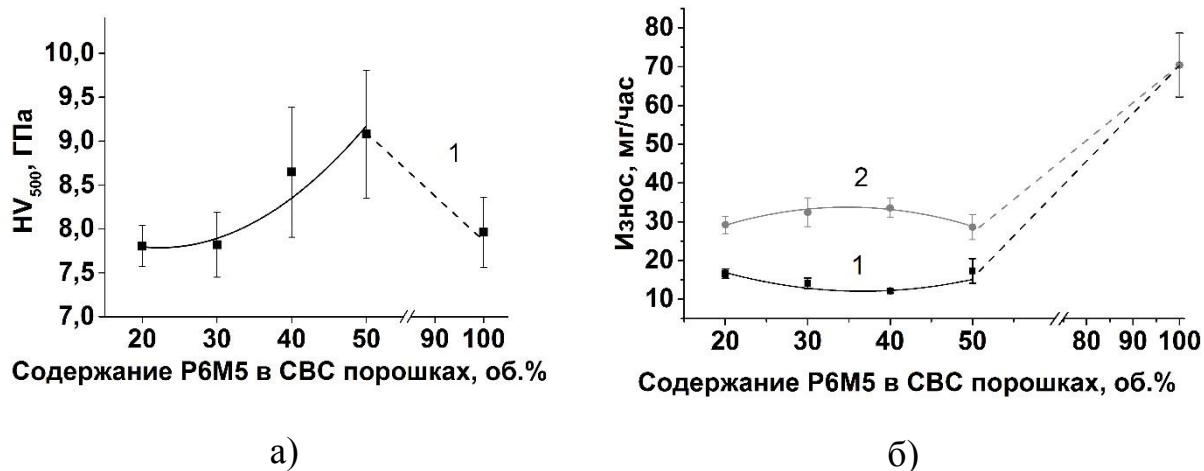
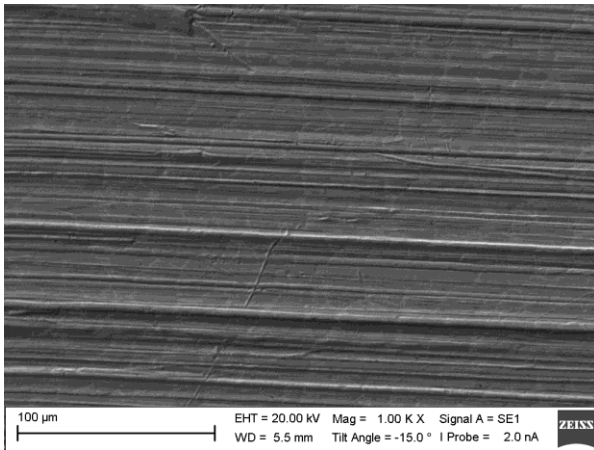


Рисунок 16. Зависимость микротвердости (а) и скорости износа (б) наплавки порошком Р6М5 и порошковыми смесями с различным содержанием стальной связки в СВС композиционных порошках. Интегральное содержание Р6М5 в наплавляемых порошковых смесях – 80 об.%. 1: – наплавка порошками 200 – 125 мкм; 2: – наплавка порошками 315 – 200 мкм.

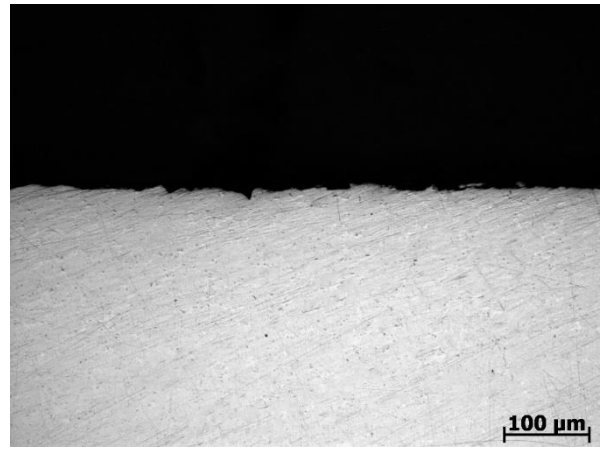
Параллельные борозды на изношенной поверхности наплавки Р6М5 (рисунок 17 а) свидетельствуют о том, что основным механизмом износа является микрорезание стали остроугольными частицами корунда с твердостью около 20 ГПа. В структуре наплавки композиционными порошками имеются нераспавшиеся гранулы композиционного порошка. Дисперсные карбидные частицы в структуре гранул прочно скреплены стальной связкой, которая обеспечивает достаточную вязкость гранул и предохраняет их от хрупкого разрушения под действием зерен абразива. Скорость износа гранул композиционного порошка зернами абразива зависит от их твердости, которая определяется, с одной стороны – объемным содержанием стальной связки, а с другой – дисперсностью карбидных включений. Из-за разнонаправленности влияния этих двух факторов на микротвердость зависимость микротвердости от содержания стальной связки немонотонная, но с тенденцией уменьшения по мере увеличения содержания

стальной связки (рисунок 13). Гранулы выступают над поверхностью (рисунок 17 г), препятствуя контакту частиц абразива со стальной связкой межгранульных прослоек и уменьшая скорость износа. Чем меньше размер гранул (при одинаковой объемной доле), тем больше их приходится на единицу площади изнашиваемой поверхности. Соответственно, тем меньше ширина межгранульных прослоек стальной связки и меньше их износ относительно крупными (200 – 160мкм) зернами абразива. Этим объясняется меньшая скорость износа покрытий, наплавленных мелкими порошками (рисунок 17 б).

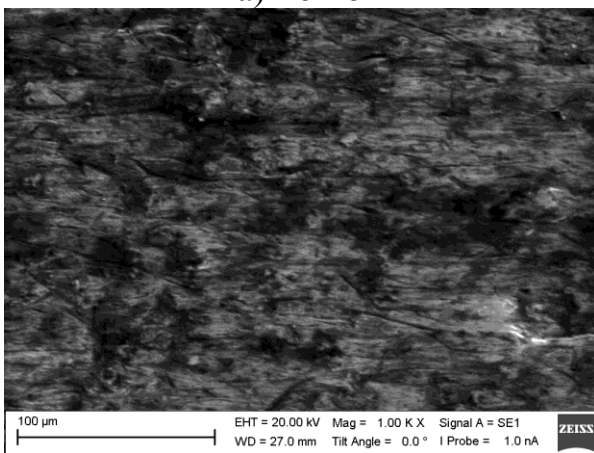




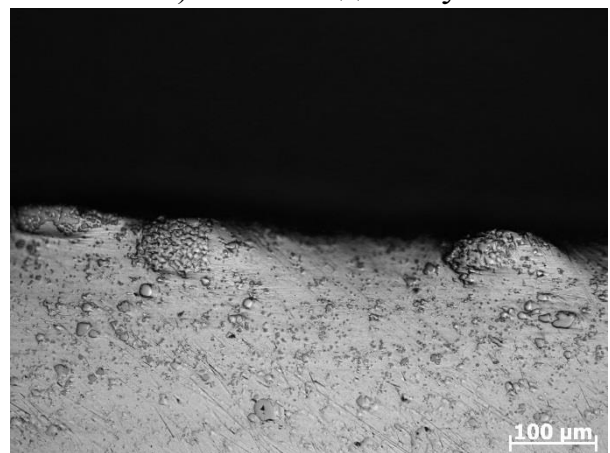
а) P6M5



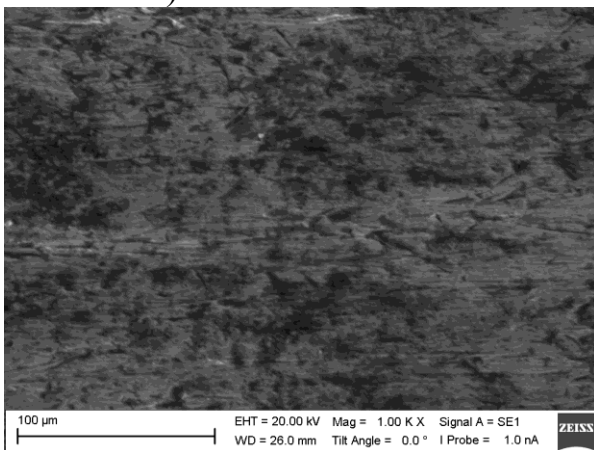
б) P6M5-вид сбоку



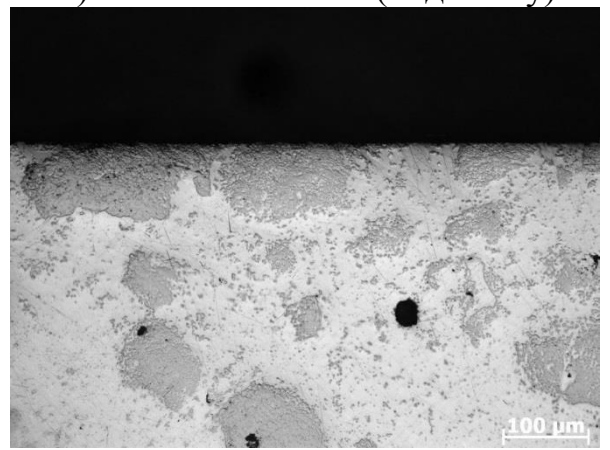
в) TiC+ 20 % P6M5



г) TiC+ 20 % P6M5 (вид сбоку)



д) TiC+ 40 % P6M5



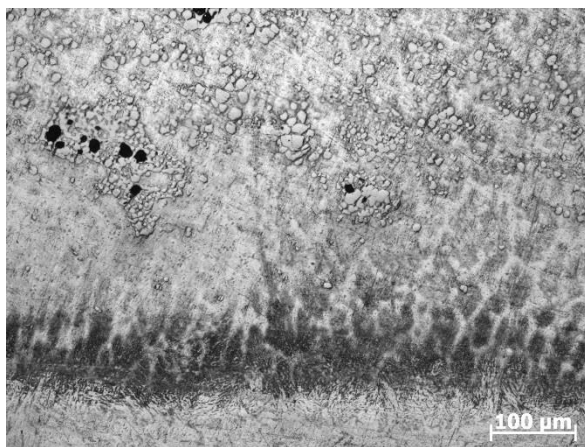
е) TiC+ 40 % P6M5 (вид сбоку)

Рисунок 17. Вид изношенных поверхностей наплавков порошком P6M5 (а) и смесью с композиционным порошком TiC + 20, 40% P6M5 (б – вид сбоку).

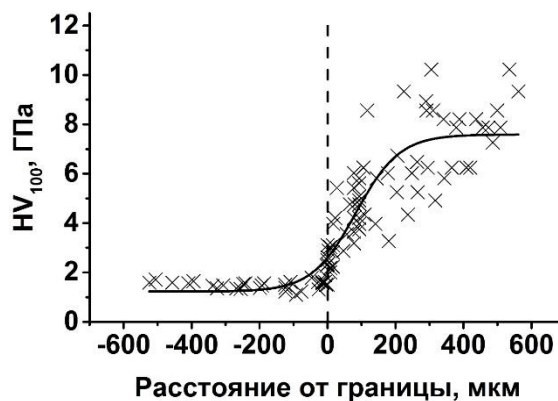
Скорость износа гранул композиционного порошка зернами абразива зависит от их твердости, которая определяется, с одной стороны – объемным

содержанием стальной связки в гранулах, а с другой – дисперсностью карбидных включений. Из-за разнонаправленности влияния этих двух факторов на микротвердость зависимость микротвердости от содержания стальной связки немонотонная, но с тенденцией уменьшения по мере увеличения содержания стальной связки, что было показано ранее (рисунок 13). Гранулы с содержанием связки 40 об. % имеют недостаточную твердость, поэтому они срезаются зернами абразива и скорость их износа мало отличается от скорости износа межгранульных прослоек связки, упрочненных дисперсными карбидными частицами (рисунок 17 в). Поверхностный рельеф этой наплавки более сглаженный (рисунок 17 д, е), чем у наплавки композиционным порошком с 20 об. % связки (рисунок 17 в, г). Твердость гранул в этой наплавке значительно выше (см. рисунок 13), чем твердость межгранульных стальных прослоек с редкими включениями крупных карбидов. Из-за различия скоростей износа гранул и межгранульных промежутков образуется поверхностный рельеф с выступающими над поверхностью гранулами (рисунок 17 г).

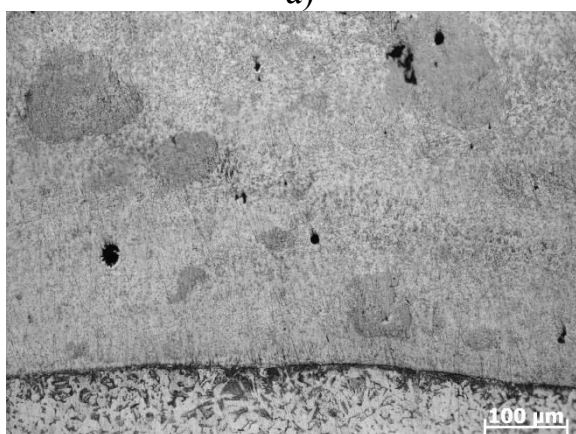
Переходная зона «покрытие – подложка» имеет большое значение, так как от ее фазового состава и структуры зависит прочность сцепления покрытия и подложки, то есть величина адгезии. Адгезия тем более важна, так как в окрестности границы «покрытие – подложка» в процессе наплавки возникают большие внутренние напряжения, как следствие различия коэффициентов термического расширения покрытия и подложки, а также значительных градиентов температуры. На рисунке 18 приведена микроструктура и изменение микротвердости в переходной зоне покрытие – подложка.



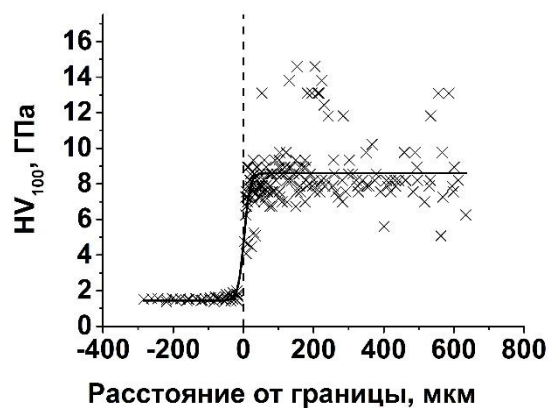
а)



б)



в)



г)

Рисунок 18. Микроструктура (а, в) и профили микротвердости (б, г) в переходной зоне покрытие – подложка. а, б – наплавка порошком TiC+20 об. % Р6М5; в, г – наплавка порошком TiC+50 об. % Р6М5.

Структура прилегающей к подложке переходной зоны наплавленных покрытий (рисунок 18 а, в) отличается от структуры основного объема наплавки меньшим количеством нераспавшихся гранул и отдельных карбидных включений за счет разбавления переходной зоны железом из подплавленной стальной подложки. Локальная микротвердость наплавки, как в переходной зоне, так и вне ее, колеблется в широких пределах из-за гетерогенности структуры. Максимальные значения микротвердости соответствуют микротвердости гранул или отдельных карбидных частиц, а минимальные значения – микротвердости стальной связки. Переход от твердости подложки к твердости основного объема покрытия более плавный в переходной зоне наплавки смесями с порошком TiC + 20 об. % Р6М5, чем

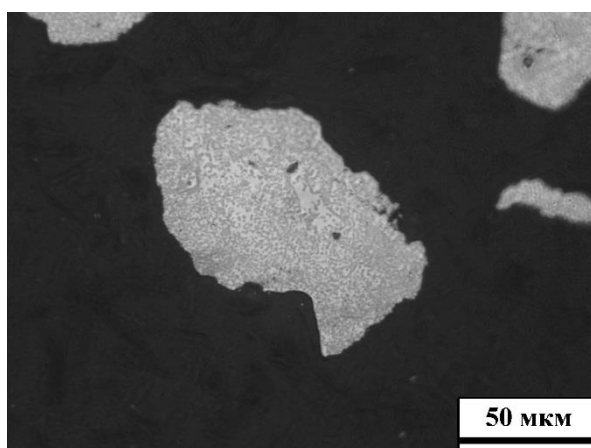
для наплавки с порошком TiC + 50 об. % P6M5 (рисунок 18 б, г). Это согласуется с более широкой переходной зоной у наплавки с порошком TiC + 20 об. % P6M5 (рисунок 18 а) по сравнению с резким переходом от подложки к наплавке с порошком TiC + 50 об. % P6M5 (рисунок 18 в). Такое различие профилей микротвердости можно объяснить тем, что твердость стальной связки, упрочненной дисперсными карбидными частицами (рисунок 18 в), в наплавке с порошком TiC+50 об. % P6M5 выше, чем твердость связки в наплавке с порошком TiC + 20 об. % P6M5, в которой имеются только редкие включения крупных карбидов (рисунок 18 а). Согласно металлографии и виду профилей микротвердости, в переходной зоне всех покрытий отсутствуют твердые и хрупкие прослойки, которые могли бы ухудшить адгезию покрытий к подложке.

### **3.3. Плазменные покрытия TiC+P6M5.**

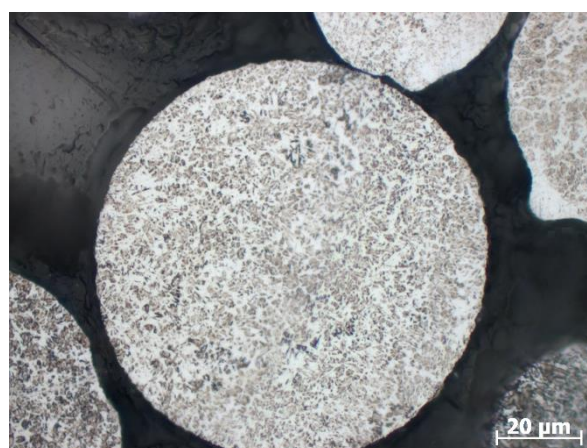
Для напыления покрытия был выбран композиционный порошок TiC+50%P6M5, который состоит из включений карбида титана со средним размером  $1,3\pm 0,4$  мкм в стальной матрице (рисунок 19 а). Мелкодисперсная структура стального порошка (рисунок 19 б) формируется в условиях высокой скорости охлаждения капель расплава (до  $10^4$ К/с).

Покрытия, напыленные стальным и композиционным порошком, имеют типичную слоистую макроструктуру (рисунок 19 в, д), сформировавшуюся при соударении напыляемых частиц и отдельном их затвердевании на подложке при скоростях охлаждения до  $10^8$ К/с. Между напыленными частицами располагаются поры, содержание которых в покрытии, напыленном стальным порошком, визуально значительно меньше, чем в покрытии, напыленном композиционным порошком. Механизм формирования микроструктуры внутри напыленных частиц в покрытиях напыленных стальным порошком марки P6M5 и керметным порошком различный. Стальные частицы сформировались из полностью

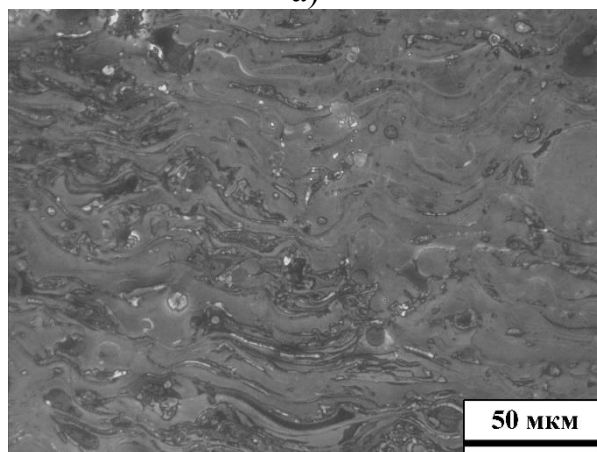
расплавленного материала и, видимо, представляли гомогенный расплав. В этом случае дисперсность вторых фаз выше, чем в напыляемом порошке. При напылении керметного порошка большая часть карбидов титана не растворяется в жидкой матричной фазе, но судя по результатам, изменяет свой химический состав по содержанию кислорода, углерода и азота. Полужидкое состояние напыляемых керметных частиц подтверждается характерным поверхностным рельефом покрытия (рисунок 19 е).



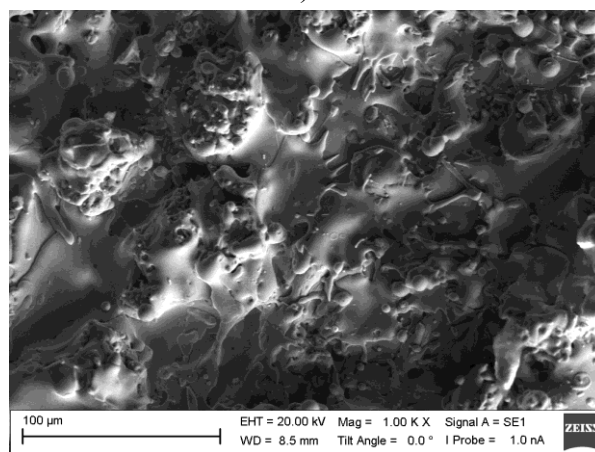
а)



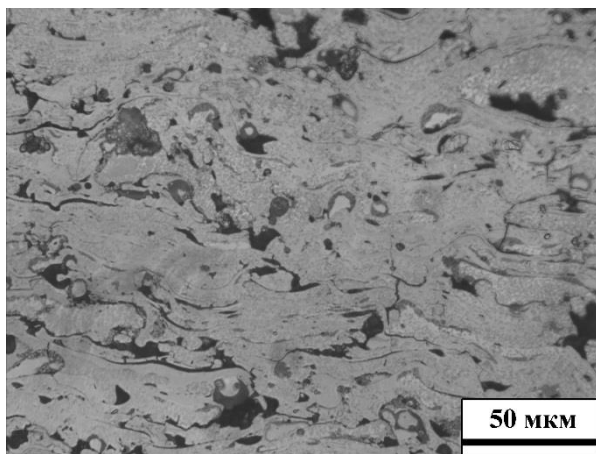
б)



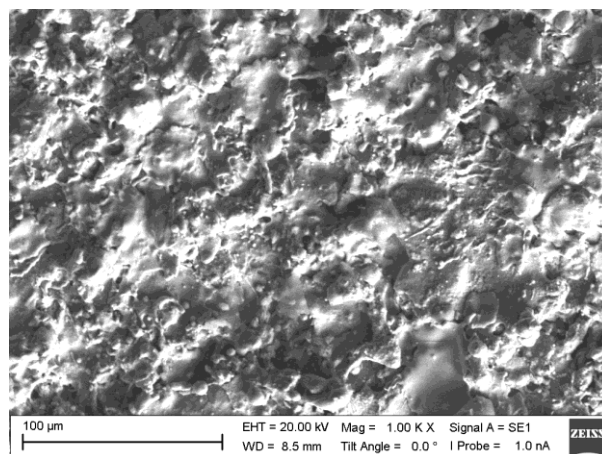
в)



г)



д)



е)

Рисунок 19. Микроструктура композиционного порошка TiC+50об% P6M5 (а, б) и покрытий, напыленных стальным (в, г) и композиционным (д, е) порошком. в, д) – поперечное сечение, г, е) – поверхность покрытий

Качественного отличия в фазовом составе порошков и покрытий не обнаружено, однако содержание отдельных фаз несколько отличается (таблица 11). Основные фазы в исходном стальном порошке и покрытии –  $\alpha$ -Fe и  $\gamma$ -Fe. При наших условиях съемки мартенситный дублет на всех рентгенограммах отсутствует, поэтому вопрос о закалке стальной связки в структуре напыленных покрытий остается открытым. Содержание карбидов мало. Относительно большое содержание остаточного аустенита ( $\gamma$ -Fe) в исходном стальном порошке объясняется высокой скоростью охлаждения в процессе получения порошка. При напылении остаточный аустенит распадается, причем фазовый состав на поверхности и в объеме покрытия качественно не отличается.

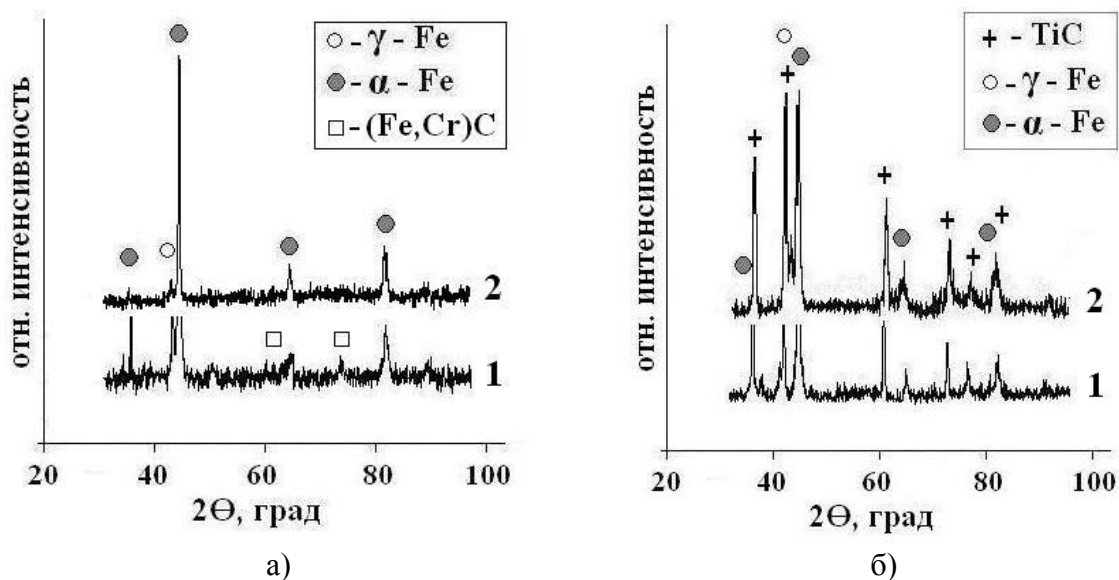


Рисунок 20. Рентгенограммы исходных порошков (1) и напыленных покрытий (2). а) – Р6М5; б) – TiC+50 об% Р6М5.

Таблица 11. Фазовый состав порошков и покрытий.

Объект съемки	Относительная доля фаз, %			
	TiC	$\alpha$ -Fe	$\gamma$ -Fe	карбиды Fe,Cr
Р6М5 (исходный порошок)	-	45	53	1.8
Р6М5 (поверхность покрытия)	-	91.1	7.4	1.5
Р6М5 (объем покрытия)	-	85.4	11.8	3
TiC+50% Р6М5 (порошок)	51.4	36.2	4.5	8.0
TiC+50% Р6М5 (поверхность покрытия)	56.6	35.9	7.5	-
TiC+50% Р6М5 (объем покрытия)	40	40	15	5

Основу стальной связки композиционного порошка составляет  $\alpha$ -Fe, при напылении относительная доля  $\alpha$ -Fe уменьшается, соответственно, увеличивается доля аустенита. Содержание карбидов железа – хрома в композиционном порошке и композиционном покрытии увеличено по сравнению со стальным порошком и напыленным покрытием. Описанные вариации относительного содержания фаз в порошках и покрытиях объясняются, с одной стороны, различием термических условий получения порошков и покрытий, а с другой – возможным влиянием титана и углерода на фазовые превращения при СВС и последующем напылении композиционного порошка.

Кроме фазового состава по результатам рентгеноструктурного анализа рассчитывали параметры решеток всех фаз, как в порошках, так и в покрытиях (таблица 12). Факторы, влияющие на параметры решеток, будут обсуждены ниже совместно с результатами определения элементного состава порошков и покрытий.

Таблица 12. Параметры решеток и содержание газовых примесей в фазах.

	Параметры решетки, нм			Примеси (*), масс %	
	TiC	$\alpha$ -Fe	$\gamma$ -Fe	O	N
P6M5 (исходный порошок )	-	0.2883	0.3633	0.08	0.049
P6M5 (поверхность покрытия)	-	0.2886	0.3627	-	-
P6M5 (объем покрытия )	-	0.2894	0.3676	2.33	0.17
TiC+50% P6M5 (порошок)	0.4321	0.2875	0.3635	0.80	0.053
TiC+50% P6M5 (поверхность покрытия)	0.4291	0.2881	0.3621	-	-
TiC+50% P6M5 (объем покрытия)	0.4304	0.2880	0.3639	2.81	0.89

(\*) – по результатам химического анализа.

В процессах СВС и плазменного напыления возможно взаимодействие с атмосферными газами, которое может влиять на химический и фазовый состав и на свойства напыленных покрытий. Результаты определения содержания углерода и атмосферных газов на оборудовании фирмы ЛЕКО приведено в таблице 13.

Таблица 13. Содержание неметаллических примесей (химанализ).

Анализируемый материал	Содержание примесей, масс %.			Отношение O/N
	C	O	N	
Порошок P6M5	1,0	0,08	0,049	1,63
Покрытие P6M5	0,615	2,33	0,17	13,7
Отношение покрытие / порошок	0,615	29,1	3,5	-
Порошок TiC+50 об% P6M5	7,83	0,80	0,053	15,09
Покрытие TiC+50 об% P6M5	6,74	2,81	0,89	3,16
Отношение покрытие / порошок	0,86	3,51	16,8	-

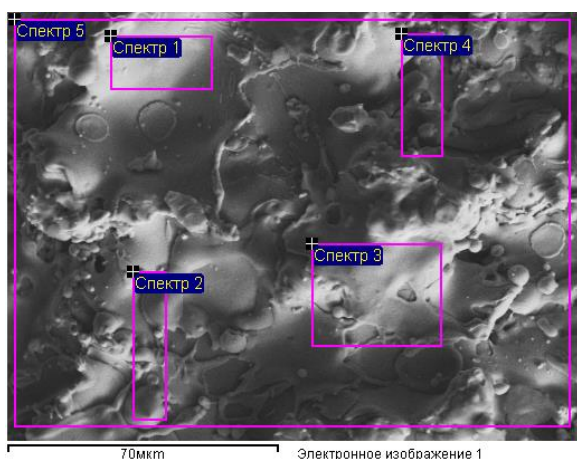


Исходный стальной порошок довольно чистый по содержанию атмосферных газов и содержит углерод в количестве, соответствующем стандартному. При напылении стального порошка происходит обезуглероживание примерно на 40 об. % от исходного, а содержание атмосферных газов в покрытии увеличивается: кислорода в 29, а азота в 3,5 раза. Возникает вопрос о структурном состоянии кислорода в покрытии, напыленном стальным порошком. Несмотря на большое содержание кислорода в этом покрытии, интенсивных линий окислов на рентгенограммах с покрытия при наших условиях съемки не обнаружено. Содержание кислорода в СВС порошке на порядок больше, чем его содержание в исходном стальном порошке, в то время как содержание азота увеличивается при синтезе незначительно (на 8 масс. %). Композиционный порошок согласно данным химического анализа содержит 7,83 масс. % углерода, тогда как содержание углерода в реакционной смеси составляет 8,17 масс. %, что получается, как сумма от содержания технического углерода в реакционной смеси (7,55 масс. %) и углерода, находящегося в составе стального порошка (0,62 масс. %). Таким образом, в процессе подготовки реакционной смеси и при последующем синтезе происходит частичная потеря углерода. Видятся две возможные причины обезуглероживания на стадии синтеза порошка: «выдувание» сажи из объема прессовки десорбированными с поверхности порошков газами и взаимодействие углерода с примесями кислорода в инертных газовых средах контейнера для смешивания и реактора СВС. Вторая из указанных выше причин подтверждается повышенным содержанием кислорода в продуктах СВС (см. таблицу 13).

При напылении СВС порошка происходит дальнейшее обеднение покрытия углеродом (примерно на 15 масс. % по сравнению с содержанием в напыляемом порошке). Также увеличивается содержание кислорода и азота: в 3,51 и в 16,8 раз соответственно. Из сравнения степени загрязнения покрытий атмосферными газами стального и композиционного порошков

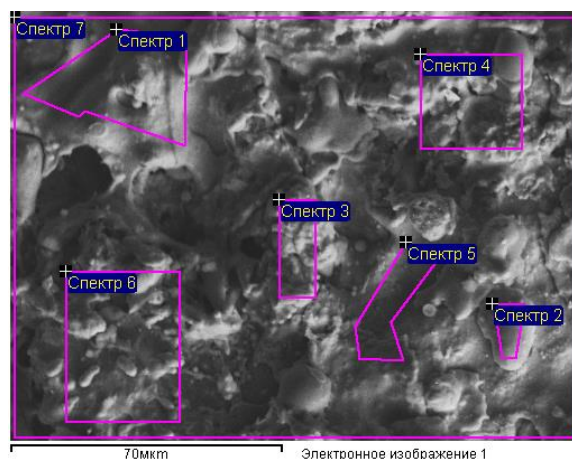
видим, что оба порошка при напылении хорошо поглощают кислород. Причиной примерно на 20% большего содержания кислорода в покрытии, напыленном композиционным порошком, по сравнению с его содержанием в покрытии, напыленном стальным порошком, по-видимому, является на порядок большее содержание кислорода в напыляемом композиционном порошке. Содержание азота в покрытии, напыленном композиционным порошком, в 5,2 раза больше, чем в покрытии, напыленном стальным порошком, в то время как содержание азота в напыляемых порошках отличается мало.

Повышенное содержание кислорода в покрытиях подтверждается данными определения методом микрозондового анализа (EDX-спектроскопия). Определение локального элементного состава в нескольких местах на поверхности покрытий дало массовое содержание кислорода около 5 % для покрытия Р6М5 и около 14 % для покрытий композиционным порошком (рисунок 13). Эти величины значительно больше, чем объемное содержание кислорода в пробах из раздробленных покрытий (см. таблицу 13). Наиболее вероятной причиной более высокого содержания кислорода в поверхностном (несколько микрон) слое покрытий, по сравнению с объемом, можно считать дополнительное окисление внешней поверхности покрытия. Однако, по нашему мнению, возможны и методические причины завышения содержания кислорода при определении EDX методом.



Элемент	C	O	V	Cr	Fe	Mo	W
Масс %	4,8	5,2	2,5	3,4	74,0	4,4	5,7

а)



Элемент	C	O	Ti	V	Cr	Fe	Mo	W
Масс %	6,3	14,7	30,2	1,4	2,2	39,2	2,7	3,3

б)

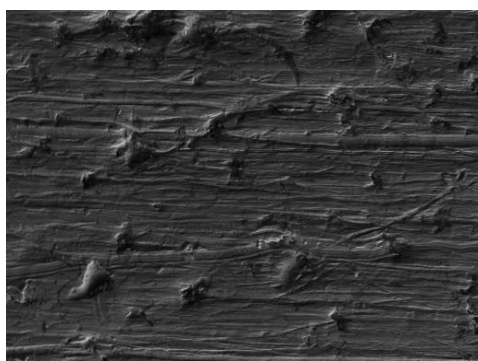
Рисунок 21. Локальный элементный состав в поверхностном слое покрытий, напыленных порошками: а) – Р6М5 (спектр 5); б) – TiC+ 50 об% Р6М5 (спектр 7).

Согласно данным, приведенным в таблице 14, введение карбида титана кратно увеличивает твердость и износостойкость плазменных покрытий на основе быстрорежущей стали. При увеличении твердости в 2 раза абразивная износостойкость увеличивается более чем в 7 раз. Повышение твердости объясняется присутствием в структуре композита частиц карбида титана с рекордной для металлических карбидов твердостью. Частично повышению твердости может способствовать более высокое содержание кислорода (на 20 масс. %) и особенно азота (в 5,2 раза) в покрытии, напыленном композиционным порошком. При этом важно структурное состояние кислорода и азота в покрытии.

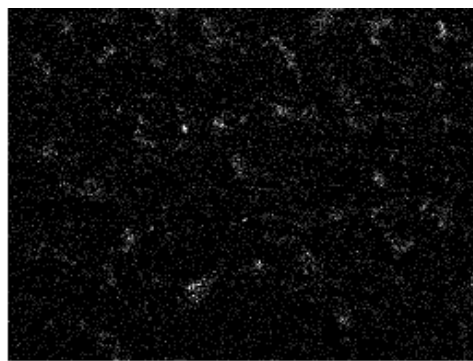
Таблица 14. Твердость и износостойкость покрытий

Напыляемый порошок	Скорость износа мг/час	Твердость, Н <sub>200</sub>
Р6М5	268,5±5,4	4287,82 ± 417,48
TiC+50 об% Р6М5	35,4	8602,55± 1521,49
Улучшение характеристики	7,6 раз	2,0 раза

О природе высокой абразивной износостойкости покрытия с карбидом титана можно судить по картинкам изношенной поверхности (рисунок 22). Изображения поверхности в излучении алюминия свидетельствуют о том, что неровности на поверхности являются частицами абразива или его обломками, заполняющими поры, которые обнажаются в процессе изнашивания. Судя по рельефу изношенных поверхностей основным механизмом изнашивания покрытий порошком корунда является микрорезание или пластическое оттеснение, о чем свидетельствуют параллельные царапины. На поверхности покрытия, напыленного композиционным порошком, царапины также присутствуют, но они более сглаженные и прерывистые. Гранулы композиционного порошка, состоящего из дисперсных частиц карбида титана в стальной связке, имеют достаточную твердость, чтобы противостоять режущему действию абразива, что обеспечивает увеличение абразивной износостойкости в 7,6 раза по сравнению с покрытием, напыленным стальным порошком.

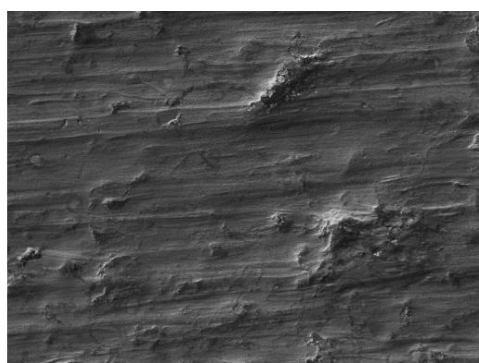


Электронное изображение 1

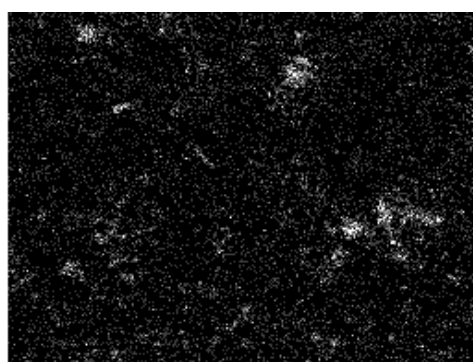


Al Kα1

а)



Электронное изображение 1



Al Kα1

б)

Рисунок 22. Вид изношенной поверхности напыленных покрытий. а) – покрытие стальным порошком; б) - покрытие композиционным порошком.

Из сравнения морфологии и дисперсности включений карбида титана в исходном порошке (рисунок 19 а) и в покрытии (рисунок 19 г) можно утверждать, что механического дробления или перекристаллизации карбидной фазы при напылении не происходит. Таким образом, технология плазменного напыления обеспечивает полное сохранение структуры напыляемого композиционного порошка в покрытии. Это является существенным преимуществом технологий порошкового напыления перед технологиями порошковой наплавки, при которых происходит в большей или меньшей степени растворение карбидной фазы в наплавочной ванне с последующей кристаллизацией карбидной фазы из жидкометаллического раствора [31, 32]. При наплавке такие важные характеристики структуры, как

дисперсность, морфология, и объемная доля упрочняющей карбидной фазы в наплавленном покрытии трудно контролировать, а тем более, сознательно ими управлять.

Высокая дисперсность карбидной фазы в структуре композита предотвращает хрупкое разрушение карбидных частиц, которое наблюдалось [33] при изнашивании покрытий, наплавленных порошковыми смесями с шихтовым карбидом дисперсностью 150 - 45 мкм. Хрупкое разрушение крупных частиц карбида титана, по-видимому, является одним из основных, если не основным механизмом изнашивания при динамическом воздействии (кавитация, высокоскоростной поток абразива, ударное нагружение) на поверхность металломатричных композитов, упрочненных грубодисперсными включениями карбида титана. Можно ожидать, что мелкодисперсная структура покрытий, напыленных или наплавленных композиционными порошками с размером карбидных частиц около 1 мкм может дать существенное улучшение свойств по сравнению с покрытиями, нанесенными с применением механических смесей крупных порошков карбида титана и металлической связки. Дальнейшее улучшение прочностных свойств, а особенно вязкости карбида титана может дать его легирование (например, вольфрамом или хромом).

Указанное выше повышение твердости и износостойкости покрытий, напыленных композиционным порошком по сравнению с характеристиками покрытия, напыленного стальным порошком, может быть обусловлено двумя причинами. Одна из них - микроструктурная: влияние дисперсных частиц карбида титана имеющих высокую твердость и хорошо противостоящих хрупкому разрушению благодаря малому размеру и демпфирующему действию более пластичной стальной связки. Другая причина – более высокое содержание кислорода и особенно азота в композиционном покрытии (таблица 13). Степень упрочнения покрытия примесями атмосферных газов должна зависеть от структурного состояния этих

примесей, которые могут находиться в виде частиц оксидов и нитридов или в твердых растворах в карбидных и металлических фазах. Рентгеноструктурный анализ не выявил отражений от оксидных или нитридных фаз. Это означает, что они отсутствуют, либо их содержание находится ниже предела обнаружения методом рентгеноструктурного анализа. Выявление этих фаз может быть затруднено также высокой дисперсностью и как следствие – уширением рентгеновских линий. О присутствии атмосферных газов в твердых растворах можно судить по изменению параметров решеток фаз. Согласно двойным равновесным диаграммам [10] растворимость кислорода и азота в феррите ничтожно мала, а возможное увеличение растворимости легирующими элементами маловероятно ввиду их малого содержания (см рисунок 21). Растворимость азота в аустените, в отличие от кислорода значительна (до 10 ат. %), однако ввиду относительно небольшого содержания аустенита в стальной связке (7,5 – 15 об. %, таблица 11) и малого изменения параметра решетки аустенита в покрытии по сравнению с параметром решетки в композиционном порошке (таблица 12) возможное поглощение азота аустенитом не может быть основной причиной более чем 16 – кратного увеличения содержания азота при напылении (см. таблица 13).

Известно [27], что атомы азота и кислорода легко замещают углерод в его подрешетке с образованием оксикарбидов и карбонитридов. Это замещение приводит к уменьшению параметра решетки. Изменение параметра решетки карбида титана с 0,4321 нм в напыляемом композиционном порошке до 0,4291 нм на поверхности и до 0,4304 нм в объеме покрытия (см. таблицу 12) позволяет предполагать, что основная часть поглощенного при напылении азота находится в решетке карбида титана. Так как нитрид титана по твердости не уступает карбиду титана нестехиометрического состава [34], то замещение углерода азотом не

ухудшает упрочняющего действия дисперсной фазы металломатричного композита.

Таким образом, из всей совокупности представленных выше результатов можно утверждать, что основным фактором, обеспечивающим высокую твердость и износостойкость покрытий, напыленных композиционным порошком, является структура покрытия, в которой дисперсная карбидная или карбонитридная фаза, имеющая высокую твердость, равномерно распределена в стальной связке. Продолжение исследований с целью улучшения свойств покрытий можно вести в двух направлениях: а) коррекции химического состава керметного порошка легированием с целью повышения вязкости карбида титана и уменьшения поглощения атмосферных газов при напылении и б) повышения когезионной прочности плазменных покрытий (например, их электромеханической обработкой).



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ51	Барановский Антон Валерьевич

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФВТМ</b>
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	машиностроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></li> <li>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></li> <li>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></li> </ol>	<i>Работа с информацией, представленной в российских нормативно-правовых документах.</i>
--	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></li> <li>2. <i>SWOT-анализ</i></li> <li>3. <i>Инициация проектом</i></li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i></li> </ol>	<i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ).</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Основная заработная плата исполнителей темы</i></li> <li>2. <i>Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта</i></li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i></li> </ol>	<i>Оценка сравнительной эффективности исследования. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта</i>

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ассистент	Черепанова Н.В.	кандидат философских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ51	Барановский А.В.		

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Для изготовления деталей и инструментов в машиностроении применяют различные материалы: инструментальные углеродистые, легированные и быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамические материалы и алмазы. Методы изготовления изделий также развиваются. Наибольшее распространение при получении режущего инструмента, предназначенного для работы в отсутствие охлаждающих жидкостей и высоких скоростей вращения и подачи, получили технологии порошковой металлургии. Однако на данный момент всё большее распространение получают методы синтеза композиционных порошков, к которым относится самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

Инструментальная быстрорежущая сталь Р6М5, используемая в работе в качестве связки, широко используется для изготовления металлорежущего инструмента. Благодаря относительно высокой жаропрочности эта сталь также представляет интерес в качестве материала износостойких покрытий, работающих при повышенных температурах. Важным ее преимуществом при использовании для наплавленных или напыленных покрытий является способность самозакалки в процессе охлаждения нанесенного покрытия. Представляется возможным приблизить свойства данной стали до уровня твердых сплавов введением тугоплавкого карбида титана.

В настоящее время для получения композиционных порошков применяют вакуумное спекание прессованных смесей порошков карбида титана и связующего сплава с последующим дроблением спеков. Однако с

точки зрения производственных и экономических показателей это дорогой и низко производительный способ. В этих отношениях предпочтительней выглядит метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Произведем конкурентную оценку метода СВС  $K_{\Phi}$  и спекания  $K_{\kappa}$ .

Таблица 15. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$B_{\Phi}$	$B_{\kappa}$	$K_{\Phi}$	$K_{\kappa}$
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,2	4	3	0,8	0,6
2.Простота технологии нанесения покрытия	0,1	3	2	0,3	0,2
3.Энергоэкономичность	0,2	5	3	0,8	0,6
4. Надежность	0,05	4	4	0,20	0,20
5. Уровень шума	0,05	3	3	0,15	0,15
6.Экологичность материала	0,10	4	3	0,4	0,3
7. Область применения покрытия	0,10	3	2	0,3	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1.Конкурентоспособность продукта	0,1	4	2	0,4	0,2
2. Цена	0,05	3	3	0,4	0,45
3.Финансирование научной разработки	0,05	4	2	0,2	0,1
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>37</b>	<b>27</b>	<b>3,95</b>	<b>3,0</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Метод СВС позволяет получить увеличение производительности при значительно более низких затратах по сравнению с методом вакуумного спекания порошковых смесей, имея значительное преимущество по следующим параметрам:

- Простота нанесения покрытий;
- энергозатраты на производство партии продукта;

#### 4.2. SWOT-анализ

Одним из эффективных средств повышения ресурса инструмента при сохранении высокого уровня производительности металлообработки является применение инструмента с износостойкими покрытиями. Износостойкие покрытия позволяют получить рабочие поверхности инструмента с необходимыми служебными характеристиками, как правило, не изменяя свойств основного инструмента.

Основные преимущества данного проекта - универсальность, высокая производительность и возможность создания композиционного покрытия с заданными служебными характеристиками, увеличение срока службы инструмента, улучшение качества обрабатываемой поверхности, повышение эффективности использования оборудования, снижение себестоимости изделия.

Но несмотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не проработана стабильная технология получения порошков,

которые используются для нанесения покрытия, а также сама технология нанесения покрытия производится вручную, что вносит нестабильность в свойства получаемых покрытий.

Таблица 16. Матрица SWOT.

	<p><b>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Возможность модифицирования состава исходного материала;</p> <p>С2. Высокая работоспособность изделия;</p> <p>С3. Улучшение свойств обрабатываемой поверхности;</p> <p>С4. Снижение себестоимости изделия;</p>	<p><b>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл2. Не отработана технология получения порошков, которые в дальнейшем используются для нанесения покрытий;</p> <p>Сл3. Вероятность структурообразования составов;</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака;</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е. использование научного оборудования);</p> <p>В2. Возможность внедрения технологии в производство;</p> <p>В3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности</p>	<p>С1 В2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава;</p> <p>С4 В2. Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия);</p> <p>С2 В3. участие в грантах приводят к улучшению высокой работоспособности изделия;</p>	<p>В1 Сл4. новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака;</p> <p>В1 Сл1. Возможность изготовления прототипа;</p> <p>В3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов;</p>

<p>изделия;  <b>В4.</b> Появление дополнительного спроса на новый продукт;</p>			
<p><b>Угрозы:</b>  <b>У1.</b> Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.  <b>У2.</b> Отсутствие оборудования для массового производства;  <b>У3.</b> Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия;</p>	<p><b>У1 С1.</b> Возможность изменить состав для повышения конкурентоспособности с новыми предложениями на рынке.  <b>У3 С4.</b> Появление резервных средств за счет экономии материала.</p>	<p><b>У3 Сл4.</b> длительный простой производства.  <b>У2 Сл1.</b> Нежелание крупных предприятий сотрудничать в условиях отсутствия прототипа и оборудования массового производства.</p>	

### 4.3. Инициация проекта

#### 4.3.1. Цели и результаты проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 17.

Таблица 17. Заинтересованные стороны проекта.

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Университет	Наличие НИОКР
Магистрант	Защита магистерской диссертации с присвоением степени магистра.
Потребители	Повышение качества изделия с одновременным снижением ресурсозатрат.
Государство	Возможность импортозамещения

В таблице 18 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 18. Цели и результаты проекта.

<b>Цели проекта:</b>	<p>1. Методом СВС синтезировать порошки TiC +Ti (20%, 30%, 40%, 50%).</p> <p>2. Исследовать микроструктуру и фазовый состав СВС порошков.</p> <p>3. Получить электронно-лучевые наплавки и плазменные покрытия с использованием данных композиционных порошков.</p> <p>4. Исследовать структуру и свойства полученных покрытий.</p>
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	<p>Композиционные порошки и покрытия, которые будут отвечать всем технологическим свойствам, предъявляемым к материалам быстрорежущих инструментов (высокая прочность и износостойкость, твердость)</p>
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	<p>Законченная научно-исследовательская работа, опробованная на международных конференциях и опубликованная в журналах</p>
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	<p>Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение</p>
	<p>Выполнение проекта произведено в срок</p>

#### 4.3.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.



Таблица 19. Рабочая группа проекта

<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо- затраты, час.</b>
Прибытков Геннадий Андреевич	<i>Заказчик проекта</i>	укрупненный анализ проектов по показателям сроков, освоению затрат и финансированию	
Коростелева Елена Николаевна	<i>Руководитель проекта</i>	отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	1024
Барановский Антон Валерьевич	<i>Исполнитель по проекту</i>	выполняет отдельные работы по проекту	1624
Иванов Валерий Игоревич	<i>Инженер- технолог</i>	Отвечает за работу оборудования, выполняет технологические работы	224

### 4.3.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 6. Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
Бюджет проекта	400000 тыс. руб.
Источник финансирования	ИФПМ СО РАН
Сроки проекта:	
Дата утверждения плана управления проектом	13.09.2015
Дата завершения проекта	20.05.2017

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4AM51	Барановский Антон Валерьевич

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФВТМ</b>
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	машиностроение

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Исследование проводилось на базе лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов ИФПМ СО РАН. При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, недостаточной освещенности, электрического тока, вредных веществ, физических и эмоциональных перегрузок, умственного перенапряжения. Рабочее помещение по опасности относится к I группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.</p> <p>В лаборатории в процессе работы с порошковыми материалами присутствуют пыль и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>При выполнении работы все данные были приняты по нормативам и стандартам РФ.</p>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>При выполнении работы для исследования образцов, в лаборатории используется 4%раствор азотной кислоты в спирте. Она является едким веществом и относится к веществам 3-го класса опасности. Азотная кислота вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, а её пары поражают слизистые оболочки, дыхательные пути, вызывают конъюнктивит. Предельно допустимая концентрация вредного вещества третьего класса опасности в воздухе рабочей зоны составляет от 1,1 до 10 мг/м<sup>3</sup>.</p> <p>Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> </ul>	<p>Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены. Рабочее помещение по опасности относится к I группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. Помещение лаборатории можно отнести к первой ступени</p>

– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	огнестойкости. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02.-85).
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	В лаборатории в процессе работы с порошками неизбежно образуются взвеси пыли и аэрозолей. Для их удаления работы производятся в шкафах с вытяжной вентиляцией, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры. Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, короткое замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Расстояния между рабочими зонами, параметры освещения и микроклимата соответствуют нормам. Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле А.В.	кандидат медицинских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ51	Барановский А.В.		

## **5. Социальная ответственность**

### **5.1. Введение**

В данном разделе дипломной работы будут рассмотрены вопросы по охране труда и окружающей среды. Работа была проведена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН в лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов.

При проведении исследовательских работ было использовано следующее оборудование: установка электронно-лучевой наплавки "ЛУНА-1", микроскоп AXIOVERT-200MAT, шлифовально-полировальный станок Saphir 520, дифрактометр ДРОН-7.

В процессе подготовки исследуемых образцов выполняется настройка оборудования, работа с ручным инструментом, ЭВМ.

### **5.2. Техногенная безопасность.**

#### **5.2.1. Анализ вредных факторов производственной среды**

Существует множество проявлений факторов рабочей зоны, таких как электромагнитное и ионизирующее излучения, производственные метеоусловия, освещение, вредные вещества, виброакустические поля. При выполнении исследовательской работы очевидно влияние следующих факторов: шум, тепловыделение, недостаточная освещенность рабочего места, воздействие электрического тока, физическая и эмоциональная перегрузка.

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические.

К физическим факторам можно отнести опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, питающимся от сети 220В 50Гц. Воздействие излучения монитора компьютера также относится к данной категории.

К химическим факторам относится наличие в воздухе металлической пыли, которая образуется при шлифовании образцов. При попадании в организм через дыхательные органы, через поры кожи пыль может вызывать профессиональные заболевания. При передвижении людей пыль может легко подниматься с пола вверх и проникать в легкие.

К психофизическим факторам можно отнести шумовое воздействие, монотонность работы, умственное перенапряжение и т.п. При обработке данных полученных на рентгеновском дифрактометре или на микроскопе, оператор выполняет монотонную работу, что может вызвать возникновение нервных расстройств или переутомляемость.

На производительность труда влияют следующие опасные и вредные производственные факторы:

- недостаточная освещенность рабочего места
- высокий уровень шума
- пониженная или повышенная температура рабочей зоны
- отклонение от нормативных значений влажности воздуха

#### **5.2.1.1. Шум**

Сочетание различных по силе и частоте звуков может оказывать негативное воздействие на организм человека.

Источником шума является любой процесс, вызывающий местное изменение давления или механические колебания в твердых, жидких и газообразных средах. Шум имеет определенную частоту, или спектр, выражаемый в герцах, и интенсивность — уровень звукового давления, измеряемый в децибелах. Для человека область слышимых звуков определяется в интервале от 16 до 20000 Гц [35].

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются принтер, вентиляторы системы охлаждения, шлифовально-полировальный станок Saphir 520.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Под влиянием шума учащаются пульс и дыхание, повышается расход энергии. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на центральную нервную систему и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда, препятствует нормальному отдыху и нарушает сон. Под влиянием шума значительной силы наблюдается изменение нормальной деятельности различных органов и систем (изменение секреции желудочного сока, повышение кровяного давления и т. п.).

Уровень шума в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, не должен превышать 50 - 60 дБ А [36].

В целях уменьшения или устранения шума в лаборатории применяются следующие меры: машины, производящие сильный шум, находятся в отдельной комнате, изолированной от помещений, в которых находится рабочий персонал; при длительном использовании данного оборудования, рабочим выдаются средства индивидуальной защиты, в виде противошумных наушников.

#### **5.2.1.2. Вредные вещества**

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, как в процессе работы, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на

чрезвычайно опасные (1-го класса), высокоопасные (2-го класса), умеренно опасные (3-го класса) и малоопасные (4-го класса). Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества.

Для выявления структуры металлических наплавов применяется метод травления азотной кислотой. Она является едким веществом и относится к веществам 3-го класса опасности. Азотная кислота вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, а её пары поражают слизистые оболочки, дыхательные пути, вызывают конъюнктивит. Предельно допустимая концентрация вредного вещества третьего класса опасности в воздухе рабочей зоны составляет от 1,1 до 10 мг/м<sup>3</sup> [37].

Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу.

**Первая помощь** - при попадании азотной кислоты в глаза их промывают проточной водой в течение 10 – 30 мин.; при попадании на кожу пораженную поверхность обмывают водой, прибавляя к ней питьевую соду, мыло. При проглатывании азотной кислоты показано промывание желудка обильным количеством воды, инъекции морфина, атропина.

### **5.2.1.3. Микроклимат**

Микроклимат – это сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочих помещениях. Микроклимат влияет на процессы теплообмена и характер работ. Длительное воздействие на человека неблагоприятных условий ухудшает его самочувствие, что снижает производительность труда и приводит к заболеваниям. Рассмотрим факторы воздействия подробнее:

1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям;



2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения;

3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой температуре усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению;

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду. Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой.

Таблица 20. Оптимальные параметры микроклимата в помещениях с использованием ПК

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	21-23°C
		Относительная влажность	40-60%
		Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с
Теплый	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	22-24°C
		Относительная влажность	40-60%
		Скорость движения воздуха	0,1-0,2 м/с

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия [38].

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Таблица 21. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Іб (140 - 174)	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0- 25,0	15 - 75	0,1	0,2
Теплый	Іб (140 - 174)	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0- 29,0	15 - 75 *	0,1	0,3

Воздух, поступающий в рабочие помещения операторов ЭВМ, должен быть очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов. Патогенной микрофлоры быть не должно.

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19°С [39].

В помещении имеется только естественная вентиляция (форточки окон, двери). Отопление зимой осуществляется только через систему общего

отопления (городская). В крайнем случае, устанавливаются электрические обогреватели в зимнее время и вентилятор в летнее [40].

Таблица 22. Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры.

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м <sup>3</sup> /на одного человека в час
Объем до 20м <sup>3</sup> на человека	Не менее 30
20-40м <sup>3</sup> на человека	Не менее 20
Более 40м <sup>3</sup> на человека	Естественная вентиляция

#### 5.2.1.4. Освещение на рабочем месте

Создание комфортных световых условий труда улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего.

В соответствии со СНиП II-4-79 в вычислительных центрах применяется система комбинированного освещения. Для работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3 - 0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший

размер объекта различения 0,5 - 1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [41].

В помещениях, где установлены компьютеры действуют следующие требования:

- при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные;
- при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно.

При этом крайне важно, чтобы все поле зрения было освещено равномерно. Это значит, что степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно одинаковыми, так как яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

Для работы на ЭВМ с ВДТ рекомендуются помещения с односторонним боковым естественным освещением с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией светопроемов. Площадь световых проемов должна составлять 25% площади пола. Удовлетворительное естественное освещение проще создать в небольших помещениях на 5-6 рабочих мест, а больших помещений с числом работающих более 20, лучше избегать. В случае, если экран ПЭВМ обращен к окну, должны быть предусмотрены специальные экранизирующие устройства.

#### **5.2.1.5. Расчет общего равномерного освещения**

Для проведения расчета освещенности рабочего места необходимо выбрать систему освещения, определить необходимое число светильников, их тип и

размещение. Рассчитаем параметры искусственного освещения. Существует два исполнения искусственного освещения: с использованием ламп накаливания и люминесцентных ламп. У люминесцентных ламп существует ряд существенных преимуществ:

- Близкий к дневному свету спектральный состав;
- КПД люминесцентных ламп выше в 1,5 – 2 раза, чем у ламп накаливания;
- Обладают повышенной светоотдачей (в сравнении с лампами накаливания);
- Имеют длительный срок службы.

В соответствии с указаниями [41] произведем расчет освещения. Помещение имеет площадь  $48\text{ м}^2$ , ширина составляет 6м, длина – 8м, высота – 2,5 м. Воспользуемся методом светового потока. В помещении лаборатории используются люминесцентные лампы ШОД, использование которых допускается при умеренной влажности и запыленности [42].

Величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, т.к. со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность. Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли, при люминесцентных лампах  $KЗ = 1,5$ .

Расположение светильников должно соответствовать двум критериям:

1. обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослепленности и необходимой направленности света на рабочие места.
2. Наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Расположим светильники параллельно стенам. Расстояние между светильниками рассчитаем по формуле:

$$\lambda = L/h$$

где  $L$  - расстояние между светильниками, м;

$h$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Находим  $\lambda = 1,2$  (при  $h = 2,5$  м)

Отсюда следует, что  $L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2,5 = 3$  (м).

Расстояние от стен помещения до крайних светильников  $1/3L$ .

Изобразим в соответствии с исходными данными план помещения, укажем на нем расположение светильников и определим их число.

Воспользуемся методом коэффициента использования светового потока. С его помощью можно рассчитать как световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отраженного стенами и потолком, так и освещенность при известном потоке.

Для определения количества светильников определим световой поток, падающий на поверхность по формуле:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot n},$$

где,  $F$  - рассчитываемый световой поток, лм;

$E$  - нормированная минимальная освещенность, лк (определяется по таблице [8]). Работу специалиста, в соответствии с этой таблицей, можно отнести к разряду точных работ, следовательно, минимальная освещенность будет  $E = 400$  лк;

$S$  - площадь освещаемого помещения (в нашем случае  $S = 48 \text{ м}^2$ );

$Z$  - отношение средней освещенности к минимальной (обычно принимается равным 1,1-1,2, пусть  $Z = 1,1$ );

$K$  - коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его значение зависит от типа помещения и характера проводимых в нем работ и в нашем случае  $K = 1,5$ );

$\eta$  - коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника,

размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризующихся коэффициентами отражения от стен ( $P_C$ ) и потолка ( $P_{П}$ ). Их оценивают субъективно и определяют по таблице. Так, для свежепобеленного потолка и со свежепобеленными окнами без штор  $P_C = 50\%$  и  $P_{П} = 70\%$  соответственно.

Значение  $\eta$  определим по таблице коэффициентов использования различных светильников. Для этого вычислим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h(A+B)},$$

Где,  $S$  - площадь помещения,  $S = 48 \text{ м}^2$ ;

$h$  - расчетная высота подвеса,  $h = 2,5 \text{ м}$ ;

$A$  - ширина помещения,  $A = 6 \text{ м}$ ;

$B$  - длина помещения,  $B = 8 \text{ м}$ .

Подставив значения получим:

$$I = \frac{48}{2,5 * (6 + 8)} = 1,37$$

Зная индекс помещения  $I$ , по таблице [42] находим  $\eta = 0,6$

При выборе осветительных приборов используем светильники типа ОД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами.

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОДР. Длина одного светильника 1 м., ширина 0,5 м. При этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе схему размещения на нем светильников (рисунок 23).



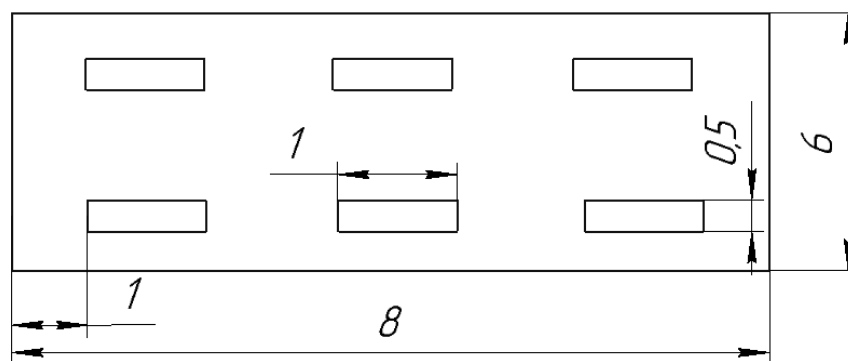


Рисунок 23. Схема расположения светильников

Подставим все значения в формулу для определения светового потока

$F$ :

$$F = \frac{400 * 1,5 * 48 * 1,1}{0,6 * 12} = 4400(\text{лм})$$

В соответствии со световым потоком выбираем стандартную лампу – ЛБ -80-4 с потоком 4960 лм.

## 5.2.2. Анализ опасных факторов производственной среды

### 5.2.2.1. Электрический ток

Опасность поражения электрическим током зависит от таких факторов, как сырость, жара, едкие пары и газы, токопроводящая пыль. При наличии данных факторов возникает возможность перехода напряжения на нетоковедущие части электрооборудования (корпуса, станины, кожухи), с которыми работающий находится в контакте. В таких условиях также понижается электрическое сопротивление тела человека, дополнительно увеличивая опасность поражения током.

Предельно допустимые величины напряжения и тока согласно ГОСТ 12.1.038-82 приведены в таблице 4

Таблица 23. Предельно допустимые величины напряжения и тока

Допустимое время действия, с	Длительность	До 30	1	0,5	0,2	0,1
Величина тока, мА	1	6	50	100	250	500
Величина напряжения, В	6	36	50	100	250	500

Действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ) все помещения подразделены на следующие три класса:

I. Помещения без повышенной опасности: сухие, с нормальной температурой воздуха, с токонепроводящими полами.

II. Помещения с повышенной опасностью: сырые с относительной влажностью воздуха (длительной) более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними.

III. Помещения особо опасные: особо сырые с относительной влажностью воздуха, близкой к 100%, химически активной средой, одновременным наличием двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. [43]

Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков грозящей опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств.

Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы таких жизненно важных органов как сердце и легкие. Поэтому второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10-15мА способны вызвать резко интенсивные судороги мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеют рабочую изоляцию и место заземления.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. применение изоляции;
2. недоступность токоведущих частей;
3. применение малых напряжений;
4. изоляция электрических частей от земли.

Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.

Категория персонала – I (неэлектротехнический персонал), то есть это люди, прошедшие только первичный инструктаж.

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

#### **5.2.2.2. Пожаробезопасность**

Пожар – это явление неконтролируемого процесса горения, причиняющего материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [44].

Для большинства помещений вычислительного центра установлена категория пожарной опасности В. Характерной особенностью помещений является их малый размер. Горючими компонентами в комнатах являются двери, перегородки, отделка, перфокарты и перфоленты, эстетическая отделка помещений, изоляция кабелей.

Источниками воспламенения могут быть электросхемы ЭВМ, устройства электропитания, в которых в результате неполадки образуются перегретые элементы, возникают электрические искры и дуги, способные вызывать загорание горючих материалов. Для отвода тепла от ЭВМ используются системы охлаждения, кондиционирования воздуха.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. Предусмотрены средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85) огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в

коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Одна из наиболее важных задач пожарной защиты - защита строительных помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования ВЦ, а также категорию его пожарной опасности, здания для ВЦ и части здания другого назначения, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами.

### **5.2.3. Региональная безопасность**

Любое предприятие, осуществляющее деятельность, неизбежно наносит тот или иной вред окружающей среде. В настоящей работе основными факторами воздействия на среду являются:

- токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов применяемых в производстве;
- взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов;
- слив кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации;
- пыль на рабочем месте.

Наибольшее внимание в природохране уделяется охране атмосферы, в которые включено:

- уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
- сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;

- сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;
- утилизация отходов вредных производств.

Полностью исключить факторы загрязнения невозможно, однако есть методы, позволяющие их существенно снизить. Оснащение производственных площадок современными пылеуловителями, использование современных фильтрационных установок, новых видов фильтров и мембран.

В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце рабочего дня они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д).

#### **5.2.4. Организационные мероприятия обеспечения безопасности**

При поступлении на работу с каждым сотрудником проводится первичный инструктаж по технике безопасности, что фиксируется в журнале.

Сотруднику разъясняются основные опасные факторы среды, правила оказания первой помощи, расположения средств пожаротушения, планов эвакуации и аптечек первой помощи.

На стенах лаборатории вывешены инструкции по технике безопасности, план эвакуации при пожаре.

*Меры по технике безопасности на рабочем месте.*

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группу допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.
2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.
3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 4 Ом.
4. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к зануленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.
5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

6. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.
7. Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.
8. Недопустимо под напряжением проводить ремонт средств вычислительной техники и периферийного оборудования. Ремонт электроаппаратуры производится только специалистами-техниками с соблюдением необходимых технических требований.
9. Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких-либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей.
10. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

#### **5.2.5. Особенности законодательного регулирования проектных решений**

В соответствии с законодательством Российской Федерации нормальная продолжительность рабочего дня не может превышать 40 часов в неделю. Сокращенная продолжительность рабочего дня устанавливается для лиц в возрасте 16-18 лет и составляет не более 36 часов в неделю, а для учеников от 14 до 15 лет, а также работников в возрасте 15 и 16 лет – 24 часа в неделю. При наличии вредных условий труда рабочий день лимитирован 26 часами в неделю. Накануне официальных праздничных дней продолжительность рабочего дня сокращается на один час. При работе в



ночное время ( с 22 до 6 утра) продолжительность рабочего дня также сокращается на час.

Указом Министерства здравоохранения от 29 декабря 1993 года №256 создан перечень тяжелых работ и опасных условий труда, согласно которому запрещается привлекать женщин к работам, которые связаны с постоянным (больше 2-х раз) на протяжении одного часа перемещением грузов массой свыше 7 кг. Если женщина занята подъемом или перемещением грузов до двух раз в течение часа, то ей может поручаться такая работа при весе груза до 10 кг. Причем в обоих случаях суммарная масса груза, который перемещается на протяжении каждого часа рабочей смены, не должна превышать 350 кг - с поверхности рабочего места и 175 кг с пола. Действующее законодательство особое внимание уделяет защите жизни и здоровья несовершеннолетних, то есть лиц, не достигших возраста 18 лет. Допускается с согласия одного из родителей принятие на работу учеников общеобразовательных школ для выполнения работы, которая не наносит ущерб их здоровью, в свободное от учебы время при достижении ими 14 - летнего возраста (на время школьных каникул). Как правило, несовершеннолетние принимаются на работу после достижения 16 лет. Их запрещается привлекать к работам, предусмотренным Перечнем тяжелых работ и работ с вредными и опасными условиями труда.

#### **5.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

При выполнении работ возможны следующие чрезвычайные ситуации: Поражение электрическим током, короткое замыкание и пожар. Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте, указанные в следующем разделе.

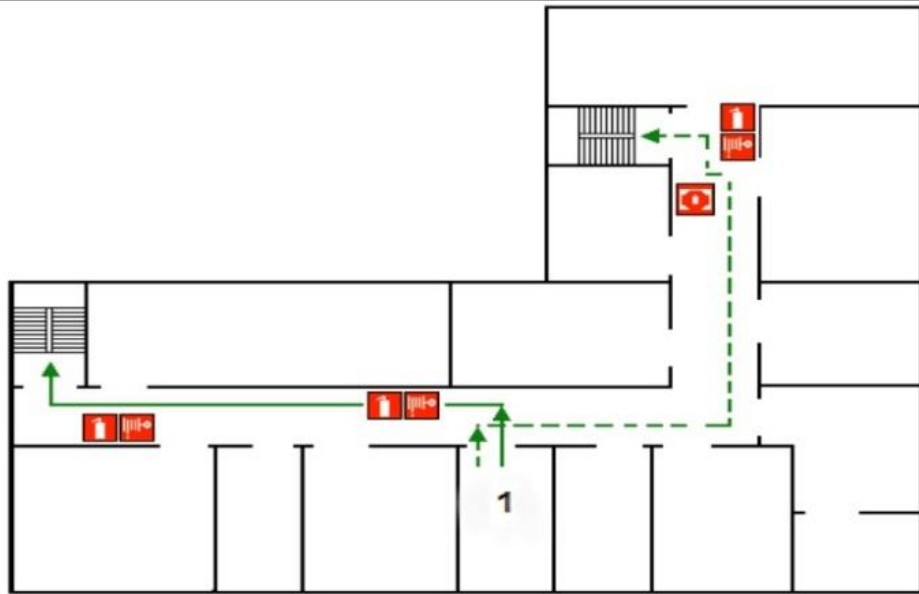
При возникновении пожара крайне важно соблюдать правила поведения при данном ЧС, так как данное явление может развиваться непредсказуемо и стремительно. Действия при пожаре прописаны в инструкции, которую обязан знать каждый сотрудник.

Действия персонала при пожаре на предприятии:

- услышав крики: "Пожар", ни в коем случае не поддаваться панике, сохранять спокойствие;
- осмотреться вокруг. Заметив телефон или кнопку пожарной безопасности, действовать незамедлительно - сообщить службам о возгорании;
- попробовать самостоятельно потушить возгорание, используя огнетушитель, землю;
- если ликвидировать пожар не получается, покинуть помещение через эвакуационный выход;
- не поддаваться панике, стараться успокоить других;
- двигаться к выходу, дышать через рукав одежды или носовой платок;
- если в помещении сильная задымленность, перемещаться, опираясь на стены или поручни;
- оказавшись на свежем воздухе, немедленно вызвать "Скорую помощь".

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

- составление планов эвакуации;
- назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;
- ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации (рисунок 24), который должен висеть на видном месте.



**Ваш номер - 1**

**Условные обозначения**

- |                        |                            |              |                                   |
|------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------------|
| ← (solid green arrow)  | - основной путь эвакуации; | ☎ (red icon) | - телефон для сообщения о пожаре; |
| ← (dashed green arrow) | - запасной путь эвакуации; | 🔥 (red icon) | - ручной пожарный извещатель;     |
| 🧯 (red icon)           | - огнетушитель;            |              |                                   |
| 🔧 (red icon)           | - пожарный кран;           |              |                                   |

Рисунок 24. План эвакуации

## 6. Основные результаты и выводы

1. С использованием СВ-синтеза в порошковых реакционных смесях титана, технического углерода и стали Р6М5 получены композиционные порошки «карбид титана – стальная связка», структуру которых (морфология и дисперсность карбидной фазы и объемная доля металлической связки) можно целенаправленно регулировать в широких пределах.
2. При электронно-лучевой наплавке смесей СВС композиционных порошков TiC + Р6М5 с порошком быстрорежущей стали формируется двухуровневая структура наплавленного покрытия с матрицей из быстрорежущей стали и двумя разномасштабными упрочняющими элементами: гранулы композиционного порошка размером более 100 мкм и отдельные карбидные включения в стальной связке.
3. При наплавке происходит уменьшение размера гранул в структуре наплавленного покрытия по сравнению с их исходным размером в присадочных порошковых смесях. Отдельные карбидные включения в стальной связке наплавленного покрытия различаются морфологией и дисперсностью и имеют двойное происхождение.
4. Ввиду эффекта самозакалки быстрорежущей стали при охлаждении наплавочной ванны в процессе наплавки, введение карбида титана в структуру наплавленных покрытий мало влияет на их твердость.
5. Абразивная износостойкость покрытий, наплавленных смесями с композиционными порошками, зависит от дисперсности композиционных порошков в порошковых присадках и в 2,3 – 4,7 раз превышает износостойкость покрытия, наплавленного порошком быстрорежущей стали.
6. При плазменном напылении композиционного порошка TiC + Р6М5 полностью сохраняется структура напыляемого композиционного порошка в покрытии, что обеспечивает повышение твердости и износостойкости

покрытия в 2,0 и 7,6 раз соответственно по сравнению с покрытием, напыленным стальным порошком.

## 7. Список публикаций

1. Барановский А. В., Криницын М. Г., Прибытков Г. А., Коржова В. В. Исследование композиционных порошков" карбид титана-связка Р6М5", полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза //Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов Международной конференции, г. Томск, 9-11 июня 2016 г.—Томск, 2016. – С. 291-296.
2. Korosteleva E. N., Pribytkov G. A., Krinitcyn M. G., Baranovskii A. V., Korzhova V. V., Strelnitskij V. E. Fabrication of «TiC-HSS Steel Binder» Composite Powders by Self-Propagating High Temperature Synthesis, Key Engineering Materials, Vol. 712, pp. 195-199, 2016.
3. Gennadii A. Pribytkov, Maxim G. Krinitcyn, Victoria V. Korzhova, Anton V. Baranovskii, and Elena N. Korosteleva Effect of Fe base alloy content in Ti-C-Fe base alloy powder mixtures on the SHS products structure //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2016. – Т. 1783. – №. 1. – С. 020189.
4. Elena N Korosteleva, Gennadii A Pribytkov, Maxim G Krinitcyn, Anton V Baranovskii, Victoria V Korzhova, Problems of Development and Application of Metal Matrix Composite Powders for Additive Technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 140. – №. 1. – С. 012010.
5. Прибытков Г.А., Калита В.И., Комлев Д.И., Коржова В.В., Радюк А.А., Барановский А.В., Иванников А.Ю., Криницын М.Г., Михайлова А.Б. Структура и износостойкость плазменных покрытий, напыленных композиционным порошком TiC+P6M5 // Физика и химия обработки материалов. – 2017, №3, с. 45-55.

## 8. Список использованной литературы

1. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.В. Карбидостали. – 1988. – 144с.
2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1972. – 496 с.
3. Соболевский П. Г. Об очищении и обработке сырой платины //Горный журнал. – 1827. – Т. 2. – С. 84.
4. Андриевский Р.А. Введение в порошковую металлургию. – Илим, 1988.– 173 с.
5. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. М.:ИД Альянс, 2011. – 644с.
6. Ли Р. И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники: учеб. пособие / Р.И. Ли. - Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
7. Шнейдерман А.К. Влияние скорости охлаждения при закалке на структуру и свойства стали Р6М5. Металловедение и термическая обработка металлов. 1991. №8. С. 23-24.
8. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П. Карбид титана: получение, свойства, применение –М.: Металлургия, 1987. — 216 с.
9. Saidi A., Crysanthou A., and Wood J.V. Preparation of Fe-TiC composites by the thermal explosion mode of combustion synthesis // Ceramics International. 1997. Vol. 23. P. 185-188.
10. Borisova A. L., Borisov Y. S. Self-propagating high-temperature synthesis for the deposition of thermal-sprayed coatings //Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2008. – Т. 47. – №. 1-2. – С. 80-94.
11. Жиляев В. А., Швейкин Г. П., Штин А. П. Взаимодействие карбидов, нитридов и оксидов титана с концентрированными минеральными кислотами //Журн. неорганической химии. – 2001. – Т. 46. – №. 8. – С. 1264-1267.

12. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник в 3 т./ под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1997, т.2, 1023с.
13. Зуев Л.В., Гусев А.И. Влияние нестехиометрии и упорядочения на период базисной структуры кубического карбида титана // Физика твердого тела. 1999. т.41. вып.4. стр.1134-1141.
14. Zarrinfar N., Shipway P.H., Kennedy A.R., Saidi A. Carbide stoichiometry in  $TiC_x$  and  $Cu-TiC_x$  produced by self-propagating high temperature synthesis // Scripta Materialia. 2002. Vol.46. P. 121-126.
15. Li Y.X., Yu J.D., Guo Z.X., Chumakov A.N. Thermodynamic and lattice parameter calculation of  $TiC_x$  produced from Al-Ti-C powders by laser igniting self propagating high temperature synthesis // Materials Science and Engineering. A. 2007. Vol. 458, [1-2] P. 235-239.
16. Ловшенко Ф. Г., Ловшенко Г. Ф., Федосенко А. С. Формирование фазового состава, структуры и свойств механически легированных композиционных порошков на основе системы «железо-алюминий» и покрытий из них // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – №. 1.
17. Алтухов С. И. и др. Исследование процесса СВС-прессования многокомпонентных катодов на основе системы Ti-B для нанесения вакуумно-дуговых покрытий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – №. 4-1. – с. 77 – 83.
18. Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику, М.: Физматлит. 2012, 400 с.
19. Евстигнеев В. В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Современные проблемы // Ползуновский вестник. – 2005. – №. 4-1. – с. 21 – 35.
20. Панин В. Е. и др. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство. – 2000. – №. 2. – С. 34-38.



- 21.Белюк С.И., Дураков В.Г. Способ электронно-лучевой наплавки. Патент РФ № 2156321. Приоритет от 32.12.1997г., Опубликовано 20.09.2000г.
- 22.Мищенко Е. С., Гнусов С. Ф. Формирование структуры покрытий на основе стали Р6М5 в условиях многопроходной электронно-лучевой наплавки // Материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч.2 – с. 94 – 97.
- 23.Прибытков Г. А., Храмогин М. Н., Коржова В. В. СВС композиционные порошки карбид титана связки из сплавов на основе железа для наплавки износостойких покрытий //Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – №. S1 – с. 185 – 188.
- 24.Прибытков Г. А. и др. Структура и абразивная износостойкость композитов тугоплавкий карбид металлическая матрица //Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7. – №. S1-1 – с. 419 – 422.
- 25.Chivavibul Pornthep, Watanabe Makoto, Kuroda Seiji, Shinoda Kentaro. Effects of carbide size and Co content on the microstructure and mechanical properties of HVOF-sprayed WC–Co coatings. Surface & Coatings Technology, 2007, v.202, pp.509–520.
- 26.Solonenko O.P., Chesnokov A.E., and Smirnov A.V. Production and plasma spraying of cermet powders TiC-NiCr with given volume content of carbide ultra-fine inclusions. International Thermal Spraying of the Conference in Barcelona/Spain on May 21 – 23, 2014, pp.373-378.
- 27.Алямовский С.И., Зайнулин Ю.Г., Швейкин Г.П. Оксикарбиды и оксинитриды металлов IVA и VA групп. М.:Наука,1981, 144с.
- 28.ГОСТ 23.208—79 «Метод испытания на абразивный износ при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы»
- 29.Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов. Справочник. М.: Машиностроение.1979.

30. А.Г. Акопян, С.К. Долуханян, И.П. Боровинская. Взаимодействие титана, бора и углерода в режиме горения. Физика горения и взрыва. 1978, №3, с. 70-73.
31. Candel J.J., Amigo V., Ramos J.A., Busquets D. Sliding wear resistance of TiC<sub>p</sub> reinforced titanium composite coatings produced by laser cladding. Surface and coatings technologies, 2010, v.2004, pp.3161-3166.
32. Макаров А.В., Соболева Н.Н., Малыгина И.Ю., Осинцева А.Л. Формирование композиционного покрытия NiCrBSi-TiC с повышенной абразивной износостойкостью методом газопорошковой лазерной наплавки. Упрочняющие технологии и покрытия, 2013, №11, стр.38-44.
33. Janaki Ram G.D., Yang Y., Stucker B.E. Deposition of Ti/TiC Coatings on Implant Structures using Laser Engineering Net Shaping. Proceedings of Int. Solid Freeform Fabrication Symposium. Austin, Texas, USA, 2007, pp.527-539.
34. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочник под ред. Косолаповой Т.Я. М. Металлургия, 1986, 928 с.
35. Малая медицинская энциклопедия. — М.: Медицинская энциклопедия. 1991—96 гг.
36. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
37. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
38. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000 - 364с.
39. СанПиН: 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным вычислительным машинам и организации работы".
40. ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия.
41. СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.

- 42.СП 52.13330.2011 “Естественное и искусственное освещение.  
Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
- 43.ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые  
уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
- 44.ГОСТ 12.1.018-93. Пожаровзрывобезопасность статического  
электричества.

## Приложение

### Раздел на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM51	Барановский А.В.		

Консультант кафедры ФВТМ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	канд.техн.наук		

Консультант – кафедры ИЯФТ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Квашнина О.С.			

## **1. Literature review**

Creation of new composites, multilayer wear-resistant coatings is the most important problem of current materials science. As a result, by the year 2000 a lot of methods for obtaining composites and alloys with unique properties (carbide cutting tools, heat-resistant steels, wear-resistant composites, electrotechnical composites) have been developed [1]. Powder metallurgy techniques known since ancient times have received intensive development in the creation of composite materials. In Russia, this direction of science was rediscovered by scientists P.G. Sobolevsky and V.V. Lyubarsky [2]. In 1826 they developed the technology for platinum powder pressing and sintering. In 1924 a refractory metal laboratory was organized at the Moscow Electric Lamp Factory, and then a number of scientific institutions were established in Ukraine, Belarus and Russia. In 1923 G.A. Meerson organized the production of tungsten powder at the Moscow Cable Plant, and in 1932 factory-made electrolytic iron was produced in large amount at the Leningrad Mechanical Plant. In 1928-1929 hard alloys and hard metal tools were produced at the Moscow Electric Lamp Factory [3].

The main task of powder metallurgy was and still remains the same - creation of materials with controlled properties and structure at all stages of technological production, and during the whole service period.

### **1.1. Instrumental steels**

In the cutting process, the tool edge wears out and heats up. Preservation of the cutting edge for a long period of time and hardness in the conditions of heating (red hardness) are the basic requirements for a cutting tool [4]. All instrumental steels are divided into 4 types.

#### **3) Steels with low hardening penetration.**

All carbon tool steels and steels with a low content of alloying elements are included there. The main property of this class of steels is a poor and unstable hardenability, due to which the middle of the products does not acquire martensitic

hardness. The internal stresses in steel and the tetragonality of the martensite contribute to considerable brittleness, therefore, after heat treatment of the material, tempering is required. Tempering temperature is determined by the required hardness of the tool.

All this must be taken into account when making tools from this class of steels and its further processing or usage. The grade designation starts with a capital letter Y followed by a figure corresponding to the carbon content in tenths of a percent (Y8, Y10, Y12). In the case of low-alloy steels, a letter of an alloying element with a similar figure of its content in the alloy (X05, X06) is likewise affixed. Tapping dies, cutting taps, chisels, cold stamping molds are made from this type of steel.

#### 4) Alloyed tool steels (with increased hardenability)

The content of alloying additives in these steels is 1-3%. These materials have increased hardenability and are quenched in oil (or stepwise - in salt). Slow hardening prevents cracking, buckling on tools of complex configuration, which is inevitable for steels of the first type. This type of steels is further divided into 3 groups depending on the content of the alloying elements:

1. Steels alloyed with 1-1.5% Cr. Have increased hardenability. Silicon additions can also increase the hardenability and resistance to tempering, which can ensure the tool's performance.
2. Steels alloyed with manganese. This type of steel has increased plasticity due to austenitic structure.
3. Highly rigid steels alloyed with tungsten. When heated, these steels lose their temper more slowly than simple carbon steels.

## **1.2. High speed steels**

This class of steels is intended for cutting tools production and can be operated under high cutting speeds. They must have high red hardness, reversible

and irreversible hardness. These properties are necessary since the main heat concentrates on the cutting edge of the tool and the greater the heating without loss in the cutting ability the material can withstand, the higher the cutting speed could be. The hardness of the tool materials as a function of the heating temperature is shown in Figure 1.

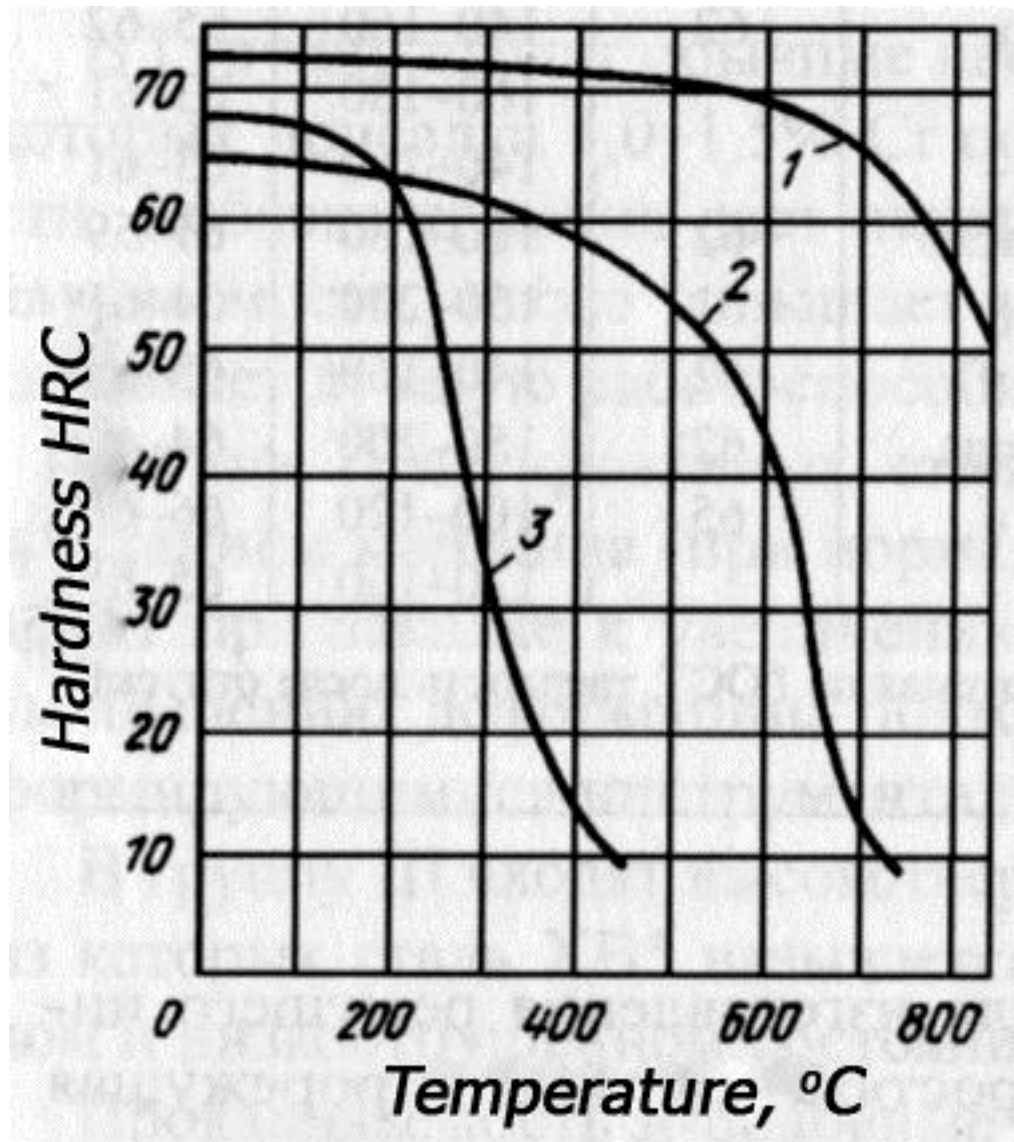


Figure 1. Hardness of instrumental materials in the heated state. 1 - hard alloy; 2 – high speed steel; 3 - carbon steel [5].

The hardness of carbon steel (3) is sharply reduced when the temperature reaches 200 ° C. Obviously, it is impossible to use this alloy above this temperature. The high speed steels (2) begin to lose their hardness in the range from 400 to 600 °C. Consequently, for these alloys it is possible to use higher

cutting speeds, which makes it more productive. Hardest alloys (1) have the highest hot hardness (from 600 °C and higher). Hard alloys will be discussed later.

Along with hot hardness, strength and redness parameters are extremely important for instrumental steels (Figure 2).

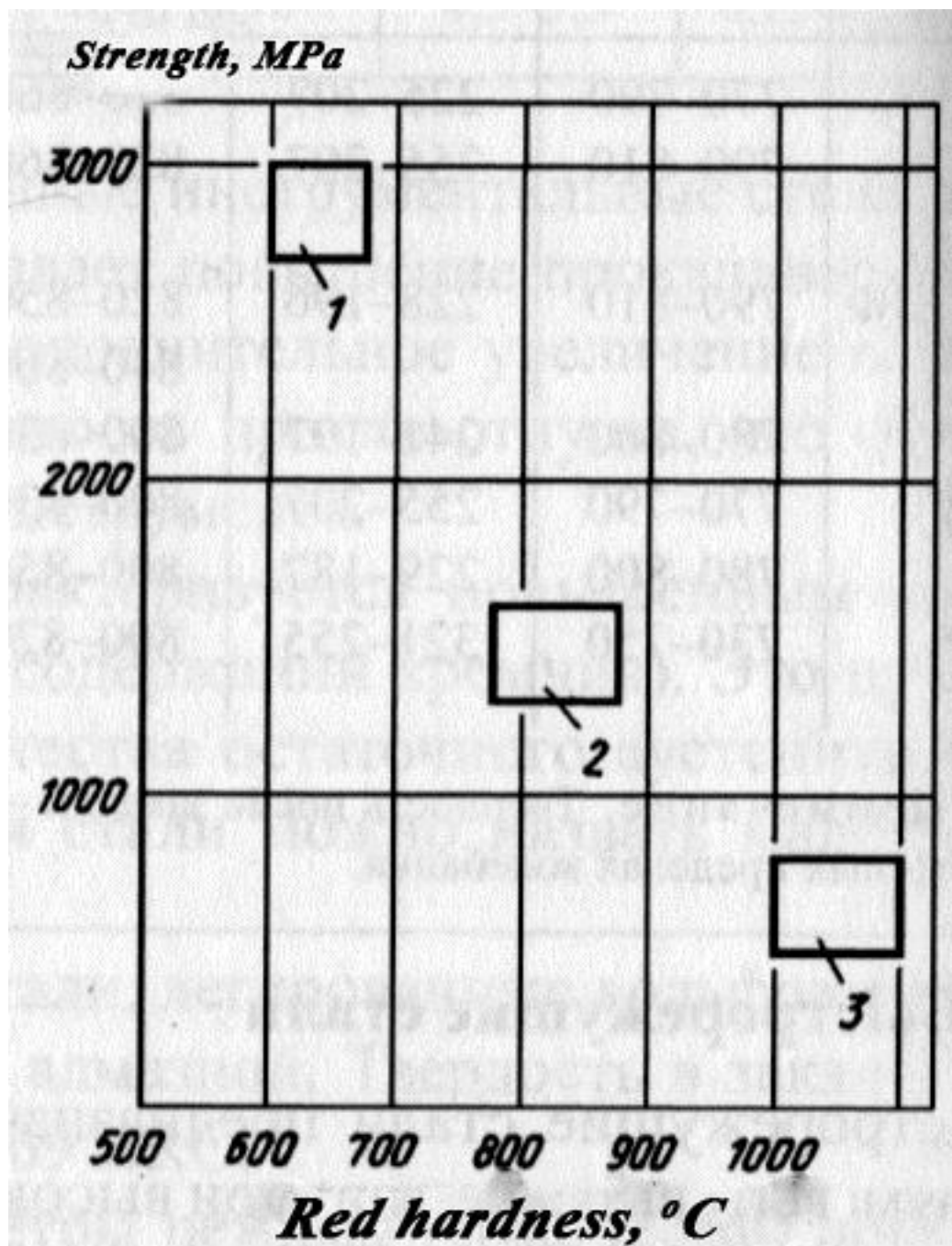


Figure 2. Strength and redness of instrumental materials in the heated state.

1 - high-speed steel; 2 - hard alloy; 3 - mineral ceramics [3].



In the conditions of intensive heating of the cutting edge, processes of coagulation of carbides occur, which reduces hardness. By strength, tool steels are positioned in the opposite direction to their redness. Therefore, it may happen, that a tool made of high speed steel works better than a carbide tool because of the larger cross-section of the removed facing.

High hardness of martensite in steel is caused by dissolution of carbon in  $Fe_\alpha$  to form a supersaturated solution. When it is tempered, the smallest particles of carbide are released. When the temperature of tempering is below 200°C, the released carbides are sufficiently small in size and do not reduce hardness, but at a higher temperature their coagulation leads to a decrease in hardness. Therefore, instrumental steels are alloyed with carbide-forming elements, which complicate the process of carbides coagulation. These elements are tungsten, molybdenum, chromium, vanadium. In addition, all these elements narrow the area of existence of austenite, which leads to an increase in hardness of steel and reduced ductility. The presence of chromium in steel contributes to a slight increase in the cold-shortness threshold. In connection with the deficit of tungsten in the 1970s, a tendency has arisen for the refusal from using alloying element in steels. The main representatives of high-speed steels are given in Table 1.

Table 1. Composition of the main grades of high-speed steels, % [3].

<i>Type of steel</i>	C	Cr	W	Mo	V	Co
P18	0,7–0,8	3,8–4,4	17,0–18,5	< 1,0	1,0–1,4	–
P12	0,8–0,9	3,1–3,6	12,0–13,0	< 1,0	1,5–1,9	–
P9 (ЭИ262)	0,82–0,95	3,8–4,4	8,5–10,0	< 1,0	2,0–2,6	–
P6M5 (ЭИ298)	0,82–0,90	3,8–4,4	5,5–6,5	5,0–5,5	1,7–2,1	–
P3M3Φ2 (ЭИ290)	0,85–1,1	3,6–4,3	2,6–3,3	2,6–3,3	1,5–2,0	–
P3M3Φ3 (ЭИ276)	1,0–1,15	3,8–4,6	2,2–2,9	2,3–2,9	2,2–2,8	–
P0M3Φ2 (ЭИ260)	0,9–1,05	4,0–5,0	–	3,2–4,0	2,0–2,6	–
P0M2Φ3 (ЭИ277)	1,1–1,25	3,8–4,6	–	2,3–2,9	2,6–3,3	–
P6M5K5	0,80–0,88	3,8–4,3	6,0–7,0	4,8–5,3	1,7–2,2	4,8–5,3
P6M5Φ2K8 (ЭП658)	0,95–1,05	3,8–4,4	5,5–6,6	4,6–5,2	1,8–2,4	7,5–8,5
P9M4K8	1,0–1,1	3,0–3,6	8,5–9,6	3,8–4,3	2,1–2,5	7,5–8,5

*Note: The content of permanent and incidental impurities is limited in these steels by the following limits, %: 0.4 Mn; 0.5 Si; 0.4 Ni; 0.03 S; 0.035 P.*

*When nitrogen is introduced (about 0.1%) letter A should be put in the middle of the designation*

In the annealed form, the structure of steels of all grades consists of an  $\alpha$ -solid solution and carbides of Cr, W, Mo, V such as  $M_6C$ ,  $MC$ ,  $M_{23}C_6$ ,  $M_3C$ .

To obtain high red hardness, carbon and the alloying elements must be converted to a  $\gamma$ -solid solution. It requires high heating temperatures for quenching. The addition of cobalt also increases redness, but its price is extremely high.

Retained austenite in tool steels is an undesirable element. Its hardness and thermal conductivity is lower than that of martensite. To convert retained austenite to martensite, cold treatment or tempering is performed. The transformation is most complete when using stepped hardening [3].

### 1.3. Hard alloys

Hardness of hard alloys can be preserved up to temperatures of 1000°C. A tool made of such material is able to operate under the most complicated conditions including high-speed cutting in the absence of cooling fluids.

Hard alloy instruments are produced by powder metallurgy methods by mixing tungsten carbide powders and titanium carbides with cobalt, followed by pressing and sintering. They are extremely hard, do not undergo any mechanical

treatment, except grinding. A plate from such hard alloy is attached to a holder of structural or instrumental steel.

High brittleness and low tensile strength are a significant disadvantage of these alloys, therefore the operating modes of the cutting tools are strictly regulated; impact and pulsating loads leading to tool microchipping are prohibited.

Hard alloys are divided into three groups depending on structure:

- Single-carbide alloys- consisting of tungsten carbide, BK group. Within the group, the alloys differ in the content of the cobalt ligament (BK3, BK6, BK8). The more cobalt is in structure, the softer the alloy is (less fragile), and softening occurs at lower temperatures. These alloys are used to process brittle materials.
- Double-carbide alloys- with an addition of titanium carbide, a typical representative of T15K6. They are used for processing steels.
- Single-carbide - consisting of carbide (Ti, W) C, TK group (T30K4, T60K6). With this titanium content, all tungsten is completely dissolved in titanium carbide. This carbide is harder than two-carbide systems and is used in the processing of rocks, drilling.

Due to high cost of cobalt and tungsten, hard alloy products with their content are also extremely expensive. Therefore, attempts are made to obtain hard, wear-resistant parts based on steels using metal carbides, for example titanium carbide. Alloys on their basis are called carbide steels.

#### **1.4. Titanium carbide and carbide steels.**

Carbide steels are materials consisting of alloyed steels and carbides, the mass fraction of which can vary from 20 to 70 vol. % [4]. As carbide, titanium carbide is the most widespread. These materials occupy an intermediate position between solid alloys and steels. Due to low cost of titanium carbide, carbide steels are used as a substitute for hard alloys in the manufacture of blanking and measuring tools. High hardness and wear resistance of carbide steels allow using

them as a material for structural parts of machines: bushings, rollers, bearings, cogwheels.

Titanium carbide can be obtained in various ways, and the resulting carbide, depending on the method and technology of production, can be in the form of fibers, coatings, single crystals or powder. The most simple to obtain and highly demanded in the production is titanium carbide in the form of a powder. There are numerous ways to obtain it. It is possible to obtain powders of titanium carbide from oxides or halides of titanium, as well as from pure titanium [5].

The cheapest and easily accessible titanium oxide is titanium dioxide, so most often titanium carbide is obtained from it. The possible ways of obtaining titanium carbide from titanium dioxide are: melting of a mixture of oxides with carbon, carbonothermic method and plasmochemical synthesis. Titanium carbide can also be produced by hydrogenation-dehydrogenation processes as well as by carbidization of a mixture of titanium facing with soot.

The most extensively studied and most common are methods for the production of titanium carbide from titanium dioxide and pure titanium, despite the relatively high cost of titanium. Therefore, the search for new, more economical methods for obtaining titanium carbide is constantly being pursued. To date, methods for the production of titanium carbide from machinery production waste and poor titanium ores are being actively developed.

Titanium carbide can be obtained from titanium powder by direct synthesis without melting, pseudo-melting, and self-propagating high-temperature synthesis (SHS).

Direct synthesis is usually carried out in order to obtain titanium carbide with a given content of bound carbon at a minimum content of free carbon and oxygen. The process itself is the sintering of titanium and soot in a vacuum furnace at a residual pressure of less, than  $10^{-2}$  Pa [6]. Pseudo-melted titanium carbide is obtained by reacting the molten titanium particles with carbon black. First, briquettes from titanium and soot are heated to 900 °C at a rate of 35-40 °C/min,

after which the samples are heated to 2050 °C in 25 minutes. Molten titanium moistens and impregnates porous agglomerates of carbon black, which actively diffuses in the metal. As a result, titanium carbide grains are obtained, similar in properties to cast titanium carbide.

The production of titanium carbide by the SHS method is carried out in a gas-free manner. The reaction of combustion in a briquette of titanium and soot powders takes a few seconds. Since titanium has a high affinity for oxygen [7], after conducting SHS in air, during cooling, especially in the first few minutes, titanium oxides are actively formed, so synthesis is most often carried out in protective inert media. The original titanium powder should also contain a minimum amount of impurities, including oxygen. Oxygen is practically absent in titanium carbide, synthesized from titanium powder with an oxygen content of less than 2% at an equilibrium pressure of 1000 Pa.

The minimum content of oxygen and free carbon at the maximum content of bound carbon can be obtained by using titanium powders with a particle size of 60-120 μm. If titanium powder with a particle size of less than 60 μm is used, gas evolution increases and, as a consequence, the quality of the titanium carbide produced decreases due to the increased content of absorbed oxygen. If titanium powder with a particle size of more than 120 μm is used, it is not possible to mix well the powders of titanium and soot due to the significant difference between the particle sizes, and as a result, the combustion is uneven or the mixture cannot be ignited altogether.

Many studies have been devoted to the investigation of titanium-carbon systems. Figure 3 shows a diagram of the state of this system.

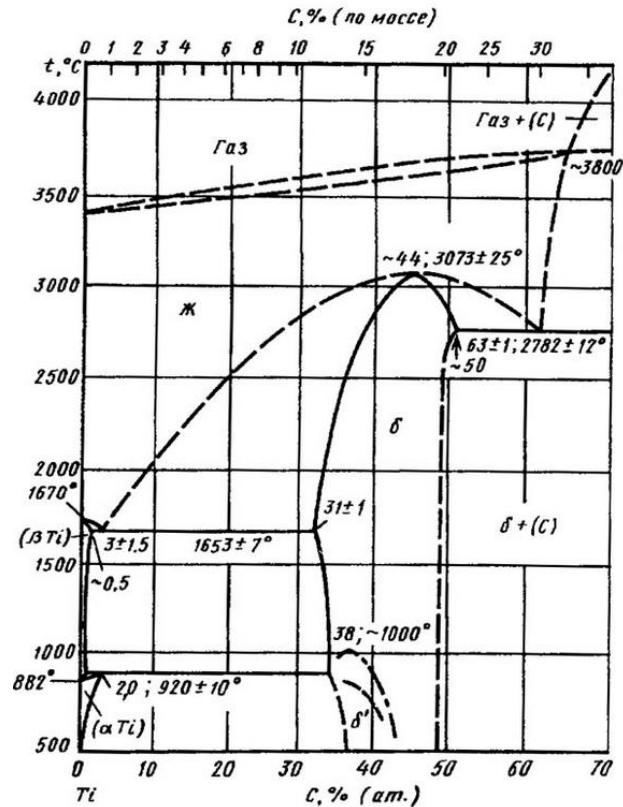


Figure 3. Diagram of Ti-C state [10].

In the presence of carbon in titanium, the  $\alpha$ - $\beta$  transformation temperature of titanium increases from 882 to 920 ° C. The maximum solubility of carbon is observed at 1750 ° C in  $\beta$ -titanium and decreases with decreasing temperature.

The period of the lattice of titanium carbide varies depending on its stoichiometry - with a decrease in the content of bound carbon, the lattice parameter decreases. The maximum lattice parameter is observed in stoichiometric titanium carbide TiC and is 0.4326 nm [8\*]. The homogeneity region of titanium carbide is rather wide, titanium carbide exists up to TiC<sub>0.46</sub>. Within the homogeneity range, its properties change significantly. Titanium carbide is very stable, due to this, has a high melting point (about 3410 ° C) and heat of formation from the elements (183.7 kJ / K). The thermal conductivity of titanium carbide at a temperature below -173 ° C is greater the greater than its defect in carbon, at higher temperatures inside the homogeneity region the thermal conductivity is unchanged and at 6.degree. C. is  $6.8 \pm 0.3 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ , With an increase in

temperature to 1500 ° C; The heat capacity also increases to 30 W / (m · K), and at 2400 ° C it is already 40 W / (m · K).

The strength properties of carbide mainly depend on the porosity and depend weakly on the defectiveness of carbon. Thus, when the porosity of the sample is increased by 5%, the strength is reduced by half. In samples having a porosity of about 0%, the tensile strength up to a temperature of 1000 ° C is about 500 MPa, after which it sharply decreases. The compressive strength decreases with increasing temperature from ~ 1400 MPa at 20 ° C to 200 MPa at 2200 ° C. In this case, the microhardness of titanium carbide decreases with an increase in the defectiveness of carbon from 31.5 to 15 GPa [5]. At temperatures below 400 ° C, titanium carbide breaks brittle, at higher temperatures the character of the fracture changes to brittle-viscous, and the earlier, the higher the defectiveness of carbide over carbon. Thus, for TiC<sub>0.5</sub>, the transition to the brittle-viscous fracture region occurs at 400 ° C for stoichiometric TiC at temperatures around 1100 ° C.

The wear resistance of titanium carbide depends strongly on the temperature at which the tests are carried out. The highest rate of wear is observed in TiC<sub>0.58</sub> and TiC<sub>0.68</sub> samples in the high-temperature region, in stoichiometric samples the wear rate is practically unchanged in the temperature range 20 - 1200 ° C.

Self-diffusion activation energy of carbon in titanium carbide increases with increasing carbide defect in carbon, and the activation energy of self-diffusion of titanium in titanium carbide remains practically constant throughout the homogeneity region. Titanium carbide dissolves in aqua regia and a mixture of nitric and hydrofluoric acids [7]. TiC has a high resistance to oxidation and is highly oxidized only at temperatures above 1100 ° C. Due to its high refractoriness, heat resistance, hardness, oxidation resistance and electrical conductivity, titanium carbide is widely used in many industries.

As a result of the analysis of the literature on various types of instrumental steels, it can be said with certainty that an increase in hardness and wear resistance

of this type of material is an actual problem. Titanium carbide by its properties is an extremely successful candidate for use in metal matrix composites with an iron-based binder. The most interesting candidate as a binder is alloyed high-speed steel P6M5, which has the ability to self-heat during the cooling of the applied coating [8].

### **1.5. SHS synthesis of composite powders.**

There are many ways to obtain composite powders [2], but a special place is occupied by SHS synthesis. Self-propagating high temperature synthesis (SHS) is a process based on the exothermic reaction of the initial reagents in the form of combustion. The target products of SHS are solid chemical compounds (carbides, borides, nitrides, oxides, etc.) and materials based on them. The SHS is based on the scientific phenomenon of the wave localization of self-locking solid-phase reactions, discovered in 1967 by Russian scientists A.G. Merzhanov, I.P. Borovinskaya and V.M. Shkiro. High reaction temperatures (2000°C and above) provide synthesis of multicomponent and composite materials on the basis of refractory compounds directly in the combustion wave [11].

Samples for the synthesis are prepared by pressing. The starting powders undergo mechanic activation to ensure the stability of SHS. The process itself is initiated by heating up the local volume, for example, with a red-hot electrospiral at the top of the workpiece, after which an exothermic reaction of layer-by-layer combustion of the workpiece begins (Fig. 1). The energy released during this process is used to heat up inert additives, such as high-speed steel, and to initiate the reaction in reactive elements (titanium and carbon compounds) [9].



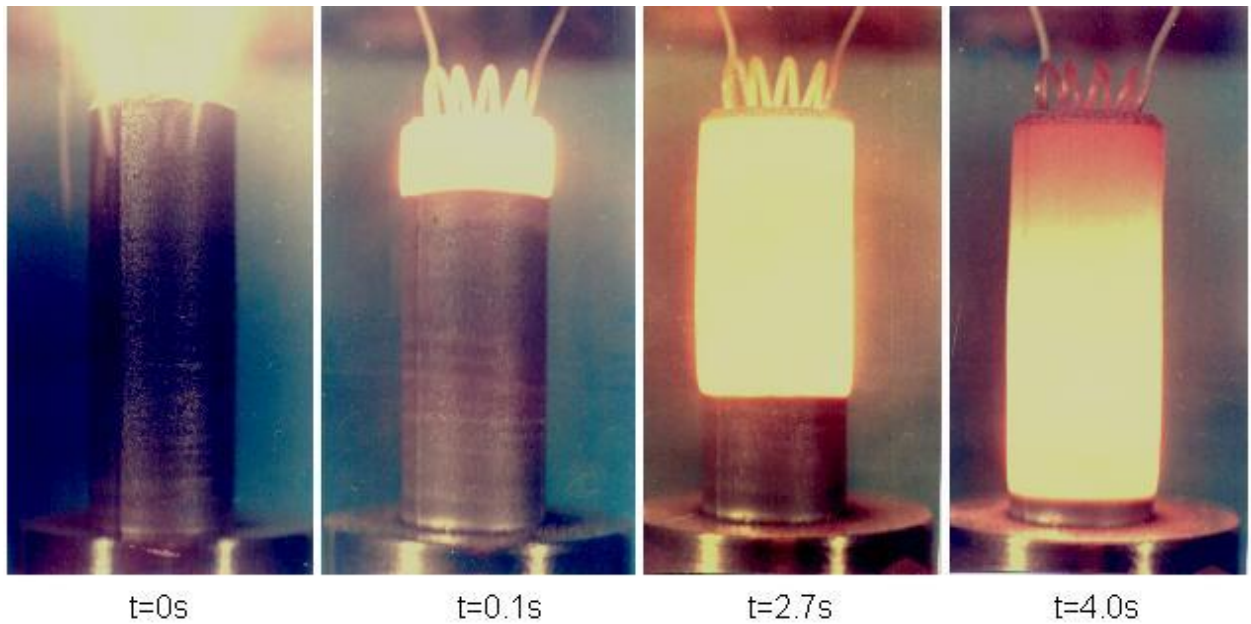


Figure 4. Example of the SHS sample and local initiation of reaction in it

SHS synthesis is influenced by many factors, which could be controlled before the onset of the reaction. Such factors are:

- the thermal effect of the reaction;
- composition and structure of the exothermic mixture of powders;
- size, density and initial temperature of pressed samples;
- Composition and pressure of the surrounding gas, etc.

The main advantages of SHS technology over other technologies are as follows: the process is energy-saving, since it does not require preheating after initiation and proceeds due to the heat released from chemical exothermic reaction; Is characterized by high productivity, determined by the burning rate (of the order of 10 ... 30 mm / s); High purity of synthesis products due to high combustion temperatures (2000 ... 3000 °C and above) and decomposition and evaporation of impurities; The possibility of obtaining multicomponent compounds in one stage in a combustion wave: the use of technologically simple and small-sized equipment [3].

The main way to initiate the SHS reaction is the local initiation of the reaction on the surface of the system by supplying a short-term heat pulse (electric

spiral, spark discharge, laser beam, etc.) with the formation of a combustion wave and its propagation through an unheated source material (layered mode). For weakly exothermic reactions or for mixtures with a high content of inert fillers, preheating of the charge in the furnace is necessary to initiate the synthesis reaction (Figure 2). Charge in SHS processes can be in a vacuum, in the open air, in an inert or reacting gas under pressure.

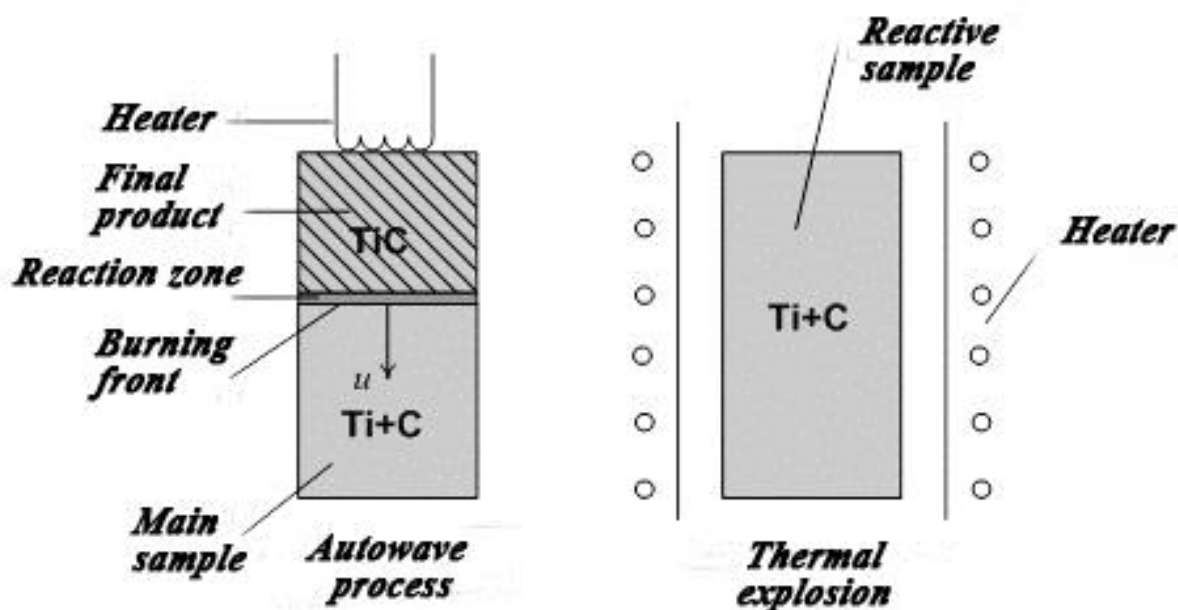


Figure 5. Methods for initiating the SHS reaction (for example, TiC).

In the simplest steady-state combustion mode, all the points of the front move with a constant in time and with the same velocities. When the stationary regime loses stability, unstable modes of propagation of the front arise: plane self-oscillations of the combustion front velocity (pulsating combustion); Localization of the burning reaction in the foci, motion of the combustion front along the helical trajectory (spin waves); Random motion of multiple combustion sites. The combustion wave does not spread over the charge in the case of strong heat losses to the environment (high content of inert additive, small diameters of charge samples, low adiabatic reaction temperatures of reagents).

In the combustion wave, various chemical, physical, and physicochemical processes take place, providing in their totality the necessary heat release [12]. The wave has a certain length and consists of a number of zones:

- Warm-up zone (combustion reactions do not yet flow, but only heat transfer and heating of the charge);
- the reaction zone (the main combustion reactions that provide the necessary heat release flow);
- burnout zone (chemical reactions continue, but they no longer affect the propagation velocity of the front);
- zone of secondary physicochemical transformations determining the composition and structure of final products.

The SHS reaction is characterized by: the propagation velocity of the front (it can reach several centimeters per second), the maximum temperature and the heating rate of the substance in the stationary combustion wave, the extinction limit (no burning under any initiation conditions), the limit of loss of stability of combustion, the depth of chemical conversion of the initial reagents to the final products. Synthesis is also possible in the regime of thermal explosion, when the self-ignition occurs during the heating of the reaction mixture. In the synthesis reaction in the thermal explosion regime, there is no combustion wave with a clearly pronounced moving front.