

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки - 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) - Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Получение изделий электроискровым спеканием под давлением из механически сплавленных порошков Ti-45 Nb

УДК 621.762.048.4:669.295

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Токтасынов Ержан Еркасымулы		16.02.19

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалевская Ж. Г.	к.т.н.		16.02.19

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.т.н.		20.02.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	д.т.н		20.02.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.Н.	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01

Код результат а	Результат обучения
P1	Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов
P2	Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау
P3	Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения.
P6	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов
P7	Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы
P8	Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях
P9	Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции
P10	Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности
P11	Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии.
P12	Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки - 15.04.01 Машиностроение
Отделение школы (НОЦ) - Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Е. Н. Коростелева
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Токтасынов Ержан Еркасымулы

Тема работы:

Получение изделий электроискровым спеканием под давлением из механически сплавленных порошков Ti-45 Nb	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020 №59-68/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния окружающей среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования был порошок Ti-45Nb, полученный механическим легированием и образцы, полученные электроискровым спеканием под давлением.</p>
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области получения порошков на основе титана механическим легированием с их последующим компактированием электроискровым спеканием под давлением; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта исследования; анализ результатов выполненной работы; заключение</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в Microsoft PowerPoint</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Александр Иванович</p>
<p>Разделы, выполненные на иностранном языке</p>	<p>Ажель Юлия Петровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Основная часть, Литературный обзор, Обарудование и методы исследования, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, Социальная ответственность – русский язык.</p>	
<p>На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:</p>	
<p>Литературный обзор</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>16.02.2019</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Ковалевская Ж. Г.</p>	<p>д.т.н., доцент</p>		<p>16.02.2019</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4AM81</p>	<p>Токтасынов Ержан Еркасымулы</p>		<p>16.02.2019</p>

Реферат

Магистерская диссертация содержит 117 с., 36 рисунка, 24 таблиц, 46 источника.

Ключевые слова: Ti-45Nb, механическое легирование, электроискровое спекание под давлением, микроструктура, микротвердость, кривые сжатия.

Объектом исследования был порошок Ti-45Nb, полученный механическим легированием, и образцы, полученные электроискровым спеканием под давлением.

Целью настоящей работы было исследование особенностей формирования компактного материала из механически легированного порошка Ti-45Nb электроискровым спеканием под давлением. Оценка вклада гранулометрического состава порошка и режимов термообработки на строение и механические свойства полученного материала.

В результате исследований описано строение порошка сплава Ti-45Nb, полученного механическим легированием, выполнено электроискровое спекание под давлением порошка сплава Ti-45Nb двух фракций – 80-200 мкм и более 200 мкм, описано строение и механические свойства полученных образцов в исходном состоянии и после отжига при температуре 400 °С и 600 °С.

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: порошковая металлургия.

Оглавление

Реферат	5
Введение	9
1. Литературный обзор.....	11
1.1. Механическое легирование	11
1.1.1. Механизм механического легирования	11
1.1.2. Оборудование и параметры механического легирования.....	14
1.1.3. Механическое легирование в системе титан-ниобий.....	16
1.2. Электроискровое спекание под давлением	18
1.2.1. Механизмы электроискрового спекания под давлением	19
1.2.2. Оборудование и параметры электроискрового спекания под давлением	21
1.3.3. Применение SPS для создания компактных материалов медицинского назначения.....	26
2 Оборудование и методы исследования	29
2.1 Механическая активация порошков	29
2.2 Использование SPS технологии для получение компактного материала.....	30
2.3 Методы исследования структуры и свойств.....	31
3 Результаты исследований.....	34
3.1 Исследование порошка Ti-45Nb, полученного механическим легированием	34
3.2 Исследование образцов, полученный SPS	37
3.3 Влияние отжига на строение образцов.....	44
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51

4.1	Введение.....	51
4.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	51
4.3	SWOT-анализ	53
4.4	Цели и результат проекта.....	56
4.4.1.	Контрольные события проекта.....	57
4.5	Потенциальные потребители результатов исследования.....	57
4.6	Расчет затрат	58
4.6.1	Расчет затрат на материалы	58
4.6.2.	Расчет затрат на оборудование.....	59
4.6.3.	Расчет амортизационных расходов	60
4.6.4.	Расчет заработной платы.....	61
4.6.5	Социальные отчисления работникам.....	68
4.6.6.	Расчет затрат на электроэнергию	68
4.6.7	Расчет общей себестоимости разработки	69
4.7	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	70
4.7.1	Оценка абсолютной эффективности исследования	70
4.7.2	Оценка сравнительной эффективности исследования	75
4.8	Заключение по разделу.....	78
5.	Социальная ответственность	82
5.1	Введение.....	82
5.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
5.2.1	Организационные мероприятия обеспечения безопасности...	82

5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	83
5.3 Производственная безопасность.....	84
5.3.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов	85
5.3.2 Основные мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя	91
5.4 Экологическая безопасность	91
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	92
5.6 Анализ пожарной безопасности	93
5.7 Заключение по разделу	94
Заключения	96
Список публикаций	97
Список использованных источников	98
Приложение А	103

Введение

Сплавы системы Ti-Nb являются перспективным материалом для использования в электротехнике и медицине как основа для имплантатов [1-2]. Сложность получения данного сплава заключается в большой разнице температур плавления [3]. Поэтому, наряду с получением данного сплава плавлением, используется механическое легирование (МЛ) компонентов в шаровых мельницах [4]. Особенностью механического сплавления является порошкообразная форма получаемого продукта, требующая для создания конструкционного материала дальнейшего компактирования.

Известно большое количество способов получения готовых изделий из механически сплавленных порошков: обычным прессованием и спеканием [5], спеканием при сверхвысоком давлении [6], электронно-лучевой порошковой металлургией [7], селективным лазерным сплавлением [8-9] и другие.

Одним из перспективных методов компактирования является электроискровое спекание под давлением. В англоязычных научных изданиях этот метод называется Spark Plasma Sintering (SPS) [10]. При спекании порошка на материал одновременно воздействует постоянный ток в импульсном режиме, температура и давление. Импульсный режим обеспечивает локальный нагрев контактных зон на границе частиц и их быстрое охлаждение, а высокая плотность межзеренных границ механокомпозита и большой запас свободной энергии при последующем нагреве способствуют интенсификации процесса спекания и сохранению ценных структурных характеристик материала в спеченном состоянии.

Целью настоящей работы было исследование особенности формирования компактного материала из механически легированного порошка Ti-45Nb электроискровым спеканием под давлением. Оценка вклада гранулометрического состава порошка и режимов термообработки на строение и механические свойства полученного материала.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать строение порошка сплава Ti-45Nb, полученного механическим легированием.
2. Выполнить электроискровое спекание под давлением порошка сплава Ti-45Nb двух фракций – 80-200 мкм и более 200 мкм.
3. Исследовать строение и механические свойства полученных образцов.
4. Оценить влияние последующего отжига на строение и механические свойства образцов.

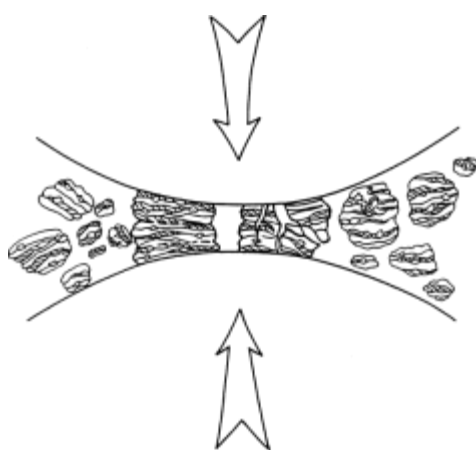
1. Литературный обзор

1.1. Механическое легирование

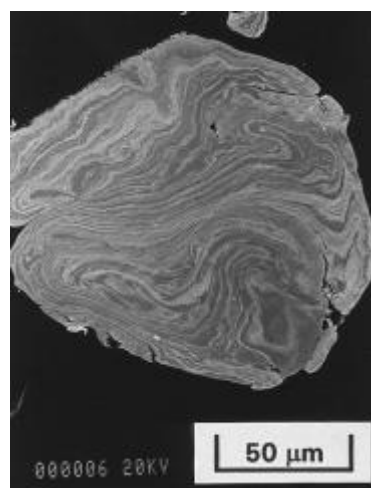
Процесс механического легирования (МЛ) начинается с смешивания порошков в нужной пропорции и загрузки порошковой смеси в мельницу вместе с шлифовальной средой (как правило, стальные шарики). Эта смесь измельчается в течение заданного периода времени до того, когда состав каждой частицы порошка такой же, как доля элементов в стартовой смеси порошка. Измельченный порошок затем консолидируется в объемную форму и обрабатывается для получения желаемой микроструктуры и свойств [11-14].

1.1.1. Механизм механического легирования

Во время высокоэнергетического измельчения частицы порошка многократно свариваются холодной сваркой, дробятся и перемешиваются. (рис. 1.1).



а



б

Рис. 1.1 Столкновение шарика с порошковой смесью при механическом легировании (а) и микроструктура внутри частицы Ag-Cu (б) [11]

Сначала преобладает процесс коагуляции частиц, затем начинает преобладать процесс измельчения (рис. 1.2).

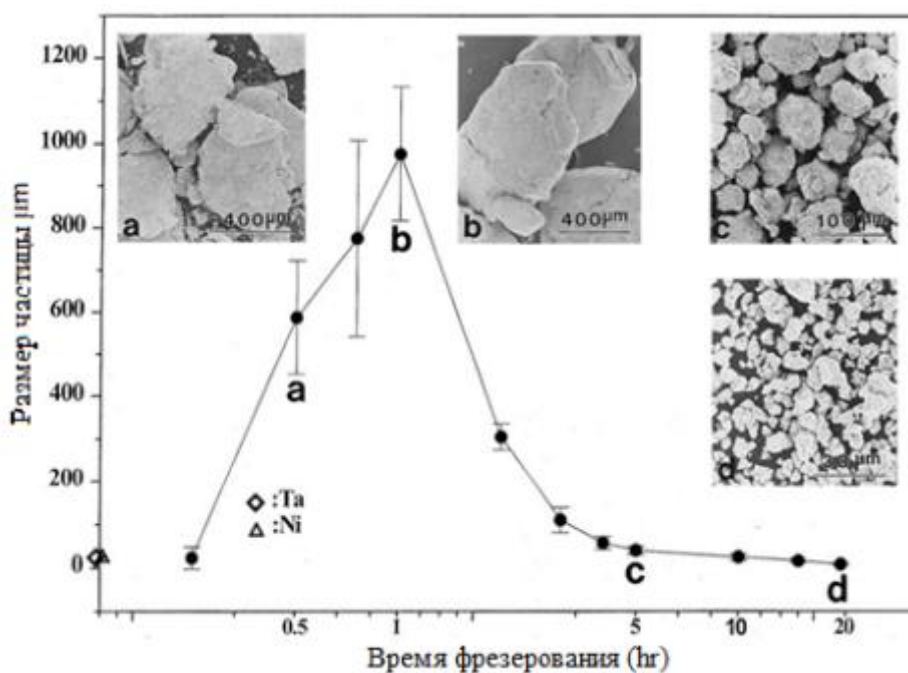


Рис. 1.2 Распределение частиц по размерам, обусловленное склонностью мелких частиц к сварке и крупных частиц к разрушению [11]

Процесс механического легирования сопровождается интенсивной пластической деформацией (ИПД). Небольшое повышение температуры во время измельчения способствует диффузии, и, следовательно, происходит сплавление составных элементов. Хотя это сплавление обычно происходит при комнатной температуре, иногда может быть необходим отжиг механически сплавленного порошка при повышенной температуре для того, чтобы быть достигнута однородности. Это особенно актуально, когда образуется сплав между металлами. Легкость, с которой можно синтезировать наноструктурированные материалы, является одной из причин, почему МЛ широко используется для производства нанокристаллитных материалов [16].

Идеальное сочетание материалов для МЛ, когда минимум 15% пластичного компонента Бенджамин [11]. Это необходимо потому, что сплавление происходит из-за повторяющегося действия холодной сварки и разрушения частиц порошка; холодная сварка не может произойти, если частицы не являются пластичными. Бенджамин впервые описал механизм сплавления в системе с участием двух разных пластичных компонентов в соответствии со схемой процесса, представленного на рисунке 1.3.

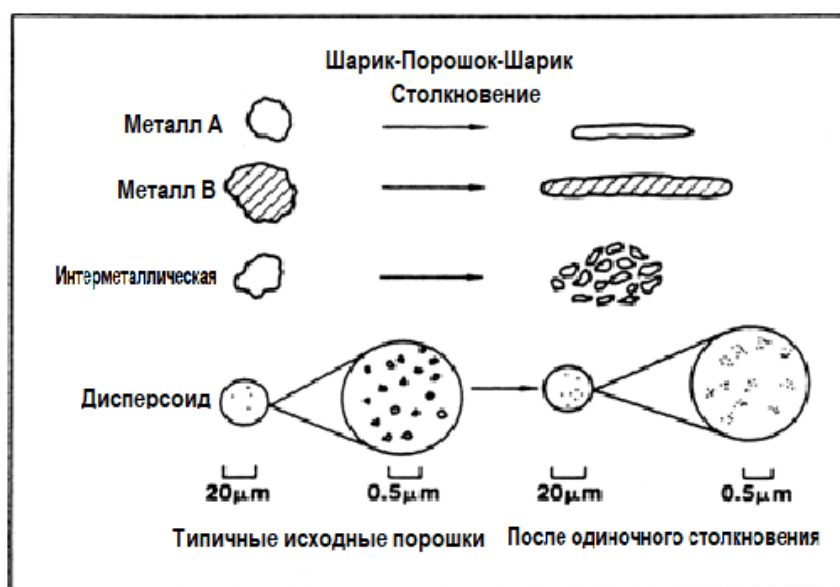


Рис. 1.3 Схема перемешивания компонентов при механическом легировании [11]

Указанием на завершение процесса МЛ и достижения однородная структура в порошке является легкость, с которой порошок мог быть удаляется из шлифовальной среды. Бенджамин показал, что это было возможно получить настоящий сплав Ni-Cr, начиная с элементарных порошков, демонстрируя что магнитное поведение механически легированного порошка было идентично из гомогенного сплава Ni-Cr, полученного плавлением и обработкой. Было обнаружено, что время

восстановления зависит от скорости ввода механической энергии в процесс и скорость упрочнения обрабатываемого материала [11].

1.1.2. Оборудование и параметры механического легирования

Для производства механически сплавленных порошков используются разные типы высокоэнергетических мельниц. Они различаются по своей производительности, эффективности измельчения и дополнительным устройствам для охлаждения, нагрева и т. д. Подробное описание различных мельниц, доступных для МЛ, можно найти в работе [17].

Остановимся на планетарных шаровых мельницах, одна из которых использована в работе. Такие мельницы производятся в РФ (АГО-2) [16] и за рубежом компанией Fritsch GmbH в Германии (Pulverisette) [11]. В таких планетарных шаровых мельницах могут быть получены несколько сотен граммов готового порошка.

Планетарная шаровая мельница совершает планетарное движение стаканов, находящихся на вращающемся опорном диске. Механизм привода обеспечивает вращение вокруг своих собственных осей (рис. 1.4).



а

б

Рис. 1.4 Внешний вид планетарной шаровой мельницы в открытом состоянии (а) и стакана в разобранном состоянии (б)

Центробежная сила, производимая стаканами, вращающимися вокруг их собственных осей и производимыми вращающимся опорным диском, действует на содержимое стакана, состоящего из материала, который будет измельчено, и измельчающих шаров. Так как стаканы и поддерживающий диск вращаются в противоположных направлениях, центробежные силы поочередно действуют в противоположных направлениях. Это приводит к шлифовальные шары бегут вниз по внутренней стене стакана с эффектом трения, а затем измельчаемый материал и шлифовальные шары поднимаются и свободно падают с эффектами удара (рис. 1.5) [11].

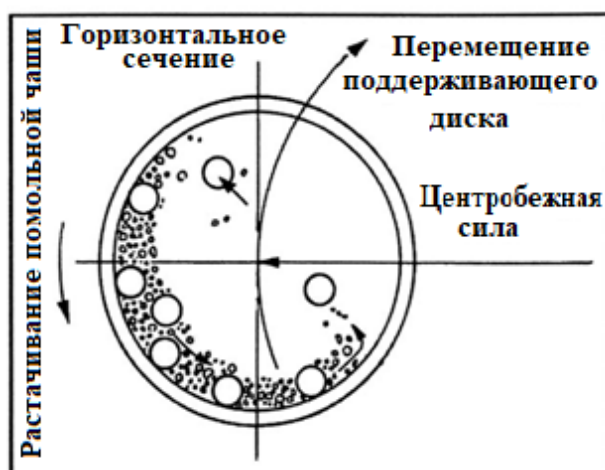


Рис. 1.5 Схема, изображающая движение шаров внутри шаровой мельницы [11]

Длительность проведения процесса становится основной трудностью при получении сплава в процессе механической обработки в шаровой мельнице. В этом случае, как указывается во всех литературных источниках, длительность процесса составляет десятки часов [11]. Поэтому, зачастую производитель ограничивается получением механокомпозита с дальнейшим его компактированием и термической обработкой, обеспечивающей получение гомогенного сплава [4]. Исключением является механическое легирование в планетарной шаровой мельнице АГО-2 [18], где время

формирования механического сплава может ограничиваться десятками минут (рис. 1.6) [19].

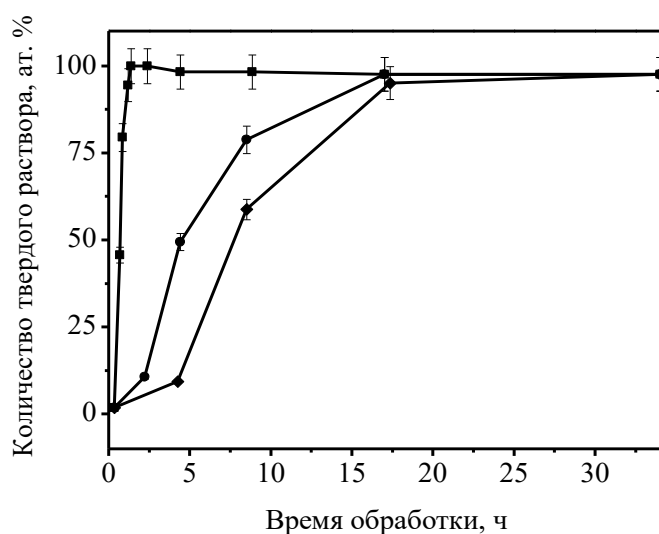


Рис. 1.6 Образование твердого раствора олова в железе при механическом легировании в различных мельницах: 1 АГО – 2; 2 – Pulverizette-5; 3 – Pulverizette-7[19]

1.1.3. Механическое легирование в системе титан-ниобий

Механическим легирование часто получают сплавы на основе титана, особенно титановые β -сплавы, используемые в биомедицине [11, 19-21]. Их физико-механические характеристики, прежде всего низкий модуль упругости и биоинертные свойства, определяют применение β -сплавов в производстве медицинских имплантатов [2].

Система сплавов Ti-Nb является перспективной для механического сплавления [19, 22-23]. Система имеет полную растворимость компонентов друг в друге в области концентраций от 52 до 100 мас. % Nb [24]. В этом случае в сплаве формируется общий твердый раствор Ti и Nb с ОЦК решеткой – β -TiNb (рис. 1.7).

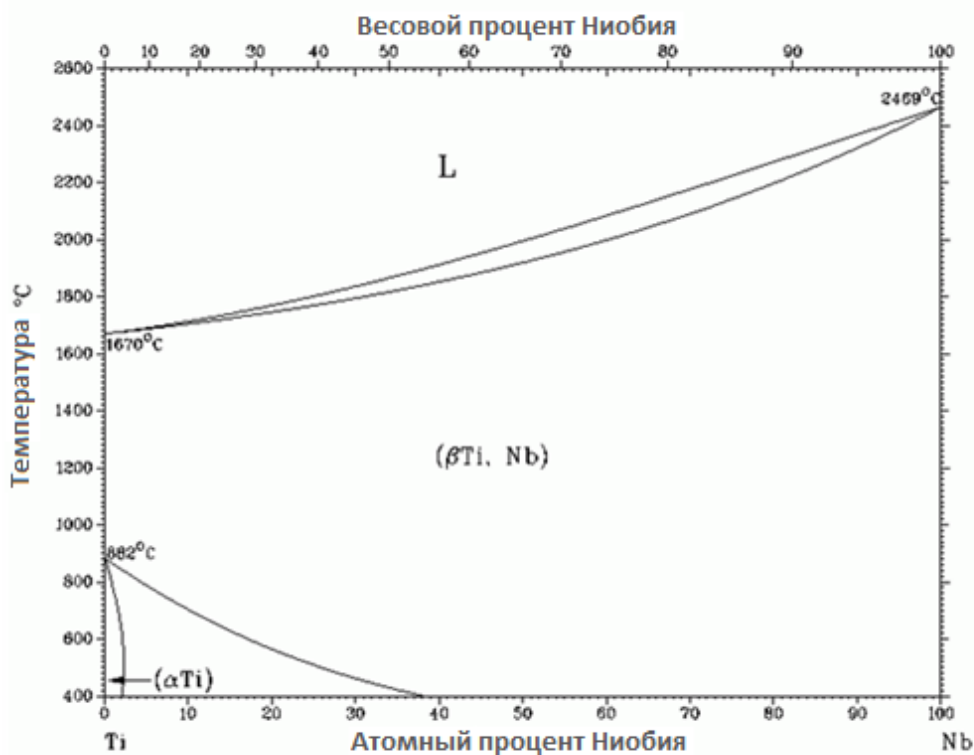


Рис. 1.7 Фазовая диаграмма равновесия Ti-Nb [24]

При формировании сплава в неравновесных условиях взаимная растворимость компонентов увеличивается, что дает возможность получить однофазный β -сплав с содержанием Nb, сниженным до 36 мас. %. К методам получения твердых растворов с растворимостью компонентов, значительно превышающей равновесную, как раз относится механическое сплавление. Это обеспечивает перспективность использования данного метода для получения однофазного β -сплава [19].

В работах Y.A. Giffoni и K. Zhuravleva с соавторами представлены результаты анализа строения механических сплавов Ti-Nb с концентрацией Nb от 10 до 60 мас. % [22-23]. Во всех работах отмечается, что в процессе механической обработки структура материала измельчается до кристаллитов с размером в несколько десятков нанометров. Однако, время формирования β -сплавасоставляет до 40 часов. Обязательным условием механического сплавления является наличие АКП, роль которого в работе [23] выполняла поваренная соль. В случае отсутствия АКП, смешивание пластичных

компонентов сплава Ti и Nb приводит к комкованию – образованию крупных агломератов с размером до нескольких сотен мкм и/или налипанию частиц на стенки стакана и мелящие тела, что обуславливает снижение выхода готового порошка до 5-10 мас. %.

В работах Ю.П. Шаркеева и М.А. Корчагина с соавторами описано МС сплавов Ti и 40-45 мас. % Nb которое проводилось в шаровой планетарной мельнице АГО-2 [19, 25-26]. Показано, что в интервале времени активации от 3 до 20 минут преобладает процесс агломерации частиц до среднего значения 66 мкм. Форма частиц меняется с чешуек на окатыши. При времени активации 25 мин происходит уравнивание процессов агломерации и разрушения получаемых частиц, что приводит к снижению их среднего размера в два раза. С ростом времени активации в сплаве увеличивается доля общего твердого раствора компонентов Ti и Nb. При времени активации 20 мин рентгеноструктурно идентифицируется однофазный β -сплав [19].

1.2. Электроискровое спекание под давлением

Технология электроискрового спекания под давлением (SPS) используется для формирования компактных материалов из порошков на основе Ti [27]. Метод обеспечивает низкую температуру спекания, время выдержки и давление по сравнению с другими традиционными процессами спекания, такими как горячее прессование, спекание без давления и горячее изостатическое прессование, которые требуют более продолжительного времени спекания. Из-за высоких скоростей нагрева высокие относительные плотности могут быть достигнуты за очень короткое время. Известно, что во время процессов спекания в искровой плазме короткое время консолидации полезно для подавления роста зерен и контроля микроструктуры, сохраняя тем самым близкий к первоначальному размеру зерна и достигая улучшенных механических свойств [28]. В SPS порошок и матрица нагреваются непосредственно постоянным током, что отличает его от обычных методов спекания. Кроме того, приложенное давление может

деформировать частицы, позволяя формировать более прочные связи между соседними частицами, а электрическое поле может способствовать диффузии атомов. По следующим причинам частицы могут соединяться вместе, образуя высококачественный компакт при относительно низкой температуре за короткое время [29].

1.2.1. Механизмы электроискрового спекания под давлением

Метод SPS относится к ряду высокоэффективных способов спекания порошков, имеющих общий принцип – использование постоянного электрического тока для нагревания порошка сплава или композита в процессе горячего прессования.

Спекание – сложный физико-механический процесс, проходящий при высоких температурах в порошковых материалах. При спекании происходит уплотнение порошкового материала, внешне проявляющееся в изменении объема, увеличении плотности и уменьшении пористости.

Спекание порошковых материалов происходит путем диффузионного массопереноса вещества под действием внешнего давления и внутренних сил, связанных, в первую очередь, с силами поверхностного натяжения. Диффузия осуществляется по определенным путям, которые определяют механизмы спекания [30].

При обычном свободном спекании однофазной системы при постоянной температуре можно выделить не менее шести механизмов дающих вклад в процесс спекания порошка (рисунок 1.8) .



Рис. 1.8 – Схематическое изображение механизмов спекания [30]

Движущей силой для всех механизмов спекания является стремление уменьшить площадь поверхности, и, соответственно, свободную энергию поверхности системы. Выделено три стадии процесса спекания:

- нулевая стадия (адгезия) приводит к мгновенному формированию шеек за счет межатомных сил при приведении частиц порошка в контакт. Очевидно, что нулевая стадия особенно важна для субмикронных порошков.
- первая стадия характеризуется тем, что отдельные частицы всё ещё различимы, а шейки тонкие.
- на второй стадии образец представляет собой компакт со сферическими порами.

При приложении давления к уплотненному порошку оно передается через контакты между частицами. Поскольку на начальной стадии площади контактов небольшие, то локальное давление в области контакта двух частиц, может существенно превышать внешнее давление, и приводить к пластическому течению материала, приводя к расплыванию точечных контактов в контактные площади. Приложенное давление увеличивают и площадь, и число контактов между частицами, так что контактная сила, отнесенная к единице площади (эффективное давление) уменьшается [30].

Особенность механизм SPS – локальный разогрев материала только в промежутке между частицами за счет пропускания постоянного тока в режиме включение-выключение. Кратковременное пропускание тока по образцу приводит к возникновению электрических разрядов в точках контактов между частицами, вследствие чего возникают локальные области высоких температур, в которых ускоряются диффузионные процессы. При повторе процесса высокотемпературные области электрического разряда перемещаются по образцу, обеспечивая тем самым равномерность спекания по всему объему (рис. 1.9). Спекание в пресс-форме под давлением обеспечивает более высокую плотность и механические свойства спеченного материала по сравнению со свободным спеканием [29].

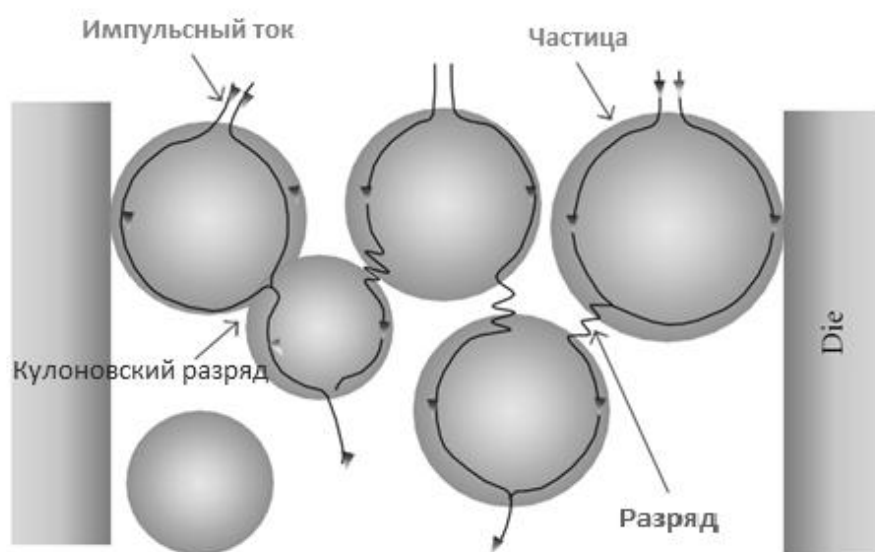


Рис. 1.9 Течение импульса постоянного тока через частицы [29]

1.2.2. Оборудование и параметры электроискрового спекания под давлением

Идея, положенная в основу метода SPS была разработана в России в 50-е годы, однако его реализация в виде системы лабораторных установок впервые была осуществлена в Японии [30]. В конце 1990-х годов японская компания Sumitomo Heavy Industries, Ltd. начала выпускать промышленное и

лабораторное оборудование для реализации технологии спекания порошков Spark Plasma Sintering (SPS) (рисунок 1.10).



Рис. 1.10 Внешний вид установки «Spark Plasma Sintering» SPS SYNTEX INC. Ltd. [30].

На рисунке 1.11 показана схема процесса SPS. Машина для спекания оснащена одноосным прессом, пробивными электродами, вакуумной камерой, контролируемой атмосферой, генератором импульсов постоянного тока и блоками измерения положения, температуры и давления [29].

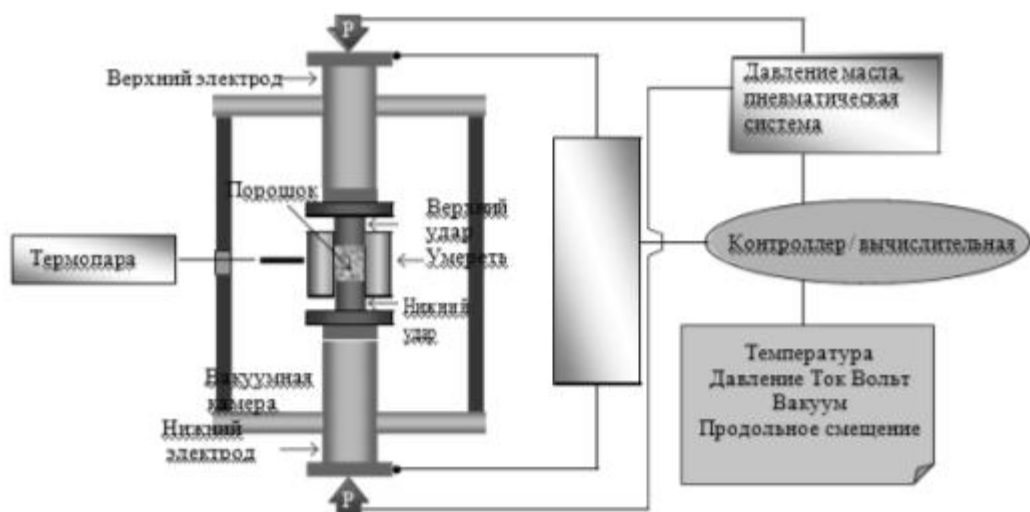


Рис. 1.11 Схема процесса SPS

Контроль температуры спекания возможен через настройку времени выдержки, скорости, импульса, импульса тока и напряжения. Импульсный разряд постоянного тока может генерировать искровую плазму, ударное ударное давление, джоулев нагрев и эффект рассеяния электрического поля. В SPS спеканию способствует импульсное напряжение постоянного тока. Применение давления способствует пластическому течению материала.

Обычно SPS проводится в четыре основных этапа, как показано на рисунке 1.12.

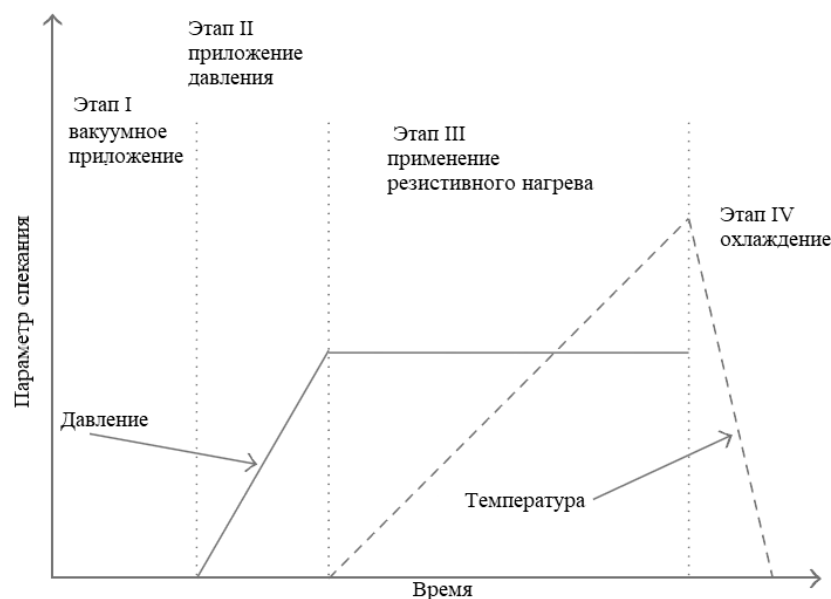


Рис. 1.12 Стадии плазменного спекания

Первый этап выполняется для удаления газов и создания вакуума. Затем на втором этапе прикладывается давление, за которым следует нагрев на третьем этапе и окончательное охлаждение на четвертом этапе. Когда искровой разряд появляется в зазоре или в точке контакта между частицами материала, мгновенно возникает локальное высокотемпературное состояние от нескольких до десяти тысяч градусов Цельсия. Это вызывает испарение и таяние на поверхности частиц порошка в процессе SPS, и вокруг зоны контакта образуются горловины. Применение давления и тока, в дополнение к высоким локализованным температурам, генерируемым в результате импульсного нагрева сопротивления, улучшает скорости нагрева и уменьшает время и температуру спекания, приводя к консолидации нанопорошков без чрезмерного роста зерна. С другой стороны, SPS – это не только процесс без связующего, но и не требующий этапа предварительной подготовки. Порошок непосредственно заполняется в графитовой матрице, через которую пропускается ток и прикладывается давление. Использование больших токов (до 5000А), и коротких импульсов (длительность импульса

3,3 мс) позволяет осуществлять разогрев графитовых пресс-форм с высокими скоростями и достигать заданных температур за короткое время. Это приводит к получению полностью плотного материала с превосходными механическими свойствами [29, 30].

На процесс спекания порошковых материалов оказывает существенное влияние выбранная температурная циклограмма. Основными инструментами для изменения режима спекания являются скорость нагрева и длительность выдержки [30].

Т. Skiba с соавторами в работе изучал эффект изменения температуры спекания и нагрева при SPS интерметаллидов FeAl. Они пришли к выводу, что наилучшими условиями были температура спекания 1100 °С и скорость нагрева до 400 °С/мин [31].

К. Matsugi и его коллеги исследовали микроструктурные свойства алюминидов титана (Ti-53mol% Al) после SPS при четырех температурах – 1300, 1350, 1375 и 1400 °С и обнаружили, что микроструктура изменялась в зависимости от температуры спекания. Значения микротвердости по Виккерсу для каждой фазы в спеченных образцах были почти такими же, как и в образцах, изготовленных по другим методам изготовления [32].

Н. Feng с соавторами исследовали влияние температуры спекания на уплотнение композитов, синтезированных посредством механического легирования порошков Ti, Fe65Mo, В и SPS. Они получили плотный композит после спекания при 1000 °С в течение 5 минут [33].

Приложение давления при спекании порошков позволяет достичь больших плотностей при тех же температурах. Давление проявляется в «механических» эффектах, приводящих к перемешиванию частиц, разрушению скоплений и т.д. Кроме того, давление усиливает движущую силу, связанную с поверхностным натяжением, которое в свою очередь приводит к эффектам текучести и ползучести, усиливает диффузию с границ между зернами [30].

С. Diouf и А. Molinari исследовали механизмы уплотнения при SPS с

использованием промышленного медного порошка с тремя размерами частиц (<25, 25–45 и 45–90 мкм). Они обнаружили, что при низком начальном давлении уплотнение происходит при перераспределении частиц, локализованной деформации, объемной деформации и росте шейки спекания. С повышением давления температура спекания не оказывает существенного влияния на плотность спеченного материала, но пластичность при растяжении возрастает с увеличением давления во время или после сгущения [34].

В другом исследовании S. Diouf и его коллеги исследовали влияние размера частиц на механизм уплотнения в диапазоне температур 600–700 °С и диапазоне давлений 20–30 МПа. Они обнаружили, что деформация и образование шейки спекания усиливались за счет увеличения размера частиц. Кроме того, они сообщили, что чрезвычайно высокая и локализованная температура в точках контакта между частицами приводит к плавлению [35].

1.3.3. Применение SPS для создания компактных материалов медицинского назначения

Материалы получаемые с использованием технологии SPS можно разделить на два класса: функциональные (обладающие уникальными физическими свойствами) и конструкционные (обладающие повышенными прочностными свойствами и применяемые в конструкциях машин) [30].



Рис. 1.13 Количество работ посвященных SPS функциональных материалов [30].

Как показано на рисунке 1.13, среди функциональных материалов, материалы, применяемые в медицине занимают второе место после материалов, применяемых в электронике. Поскольку SPS порошкового материала осуществляется в токопроводящей графитовой пресс-форме, данная технология не имеет ограничений по типам спекаемых порошковых материалов. Данным способом можно получать компактные материалы из медицинских чистых металлов, сплавов, интерметаллидов, керамики и композитов на их основе [30].

Применение SPS для порошков, полученных механическим сплавлением хорошо известно [5, 6, 13]. Так же есть опыты использования SPS технологии для компактирования порошков на основе Ti [36-38], в том числе легированного ниобием [39] и порошков на основе Nb [39].

Сплав TiAl с высоким содержанием Nb из предварительно легированного порошка Ti-45Al-8.5Nb-0.2B-0.2W-0.1Y был обработан SPS [36]. Авторы сообщили, что образцы, спеченные при 1100 °C, характеризовались тонкой дулексной микроструктурой, которая формирует превосходные механические свойства с пределом прочности на разрыв 1024 МПа и удлинением 1,16%. Образцы, спеченные при 1200 °C, имели полностью пластинчатую микроструктуру с пределом прочности на растяжение 964

МПа и относительным удлинением 0,88% .

А. Couret использовал SPS для того, что бы уплотнить предварительно легированные порошки $\text{Ti}_{49}\text{Al}_{47}\text{Cr}_2\text{Nb}_2$ и $\text{Ti}_{51}\text{Al}_{44}\text{Cr}_2\text{Nb}_2\text{B}_1$ при температуре в диапазоне от 1100 до 1250 °C [37]. Было достигнуто полное уплотнение за короткий промежуток времени, который не превышал 30 минуты и высокие механические свойства при растяжении при комнатной температуре и ограниченном сопротивлении ползучести при 700 °C.

В работе [40] было осуществлено SPS компактирование порошков Nb-Al, Nb-Al-W, Nb-Al-Mo и Nb-Al-N, полученных механическим легированием. Авторами получены полностью плотные Nb-Al-компакты при температуре спекания выше 1773K. Однако микроструктура компактов Nb-Al-W и Nb-Al-Mo не была однородной; это было связано, вероятно, с недостаточным временем спекания.

Таким образом, на основе проведенного анализа существующих научных работ, можно заключить, что компактирование механически сплавленного порошка Ti_{45}Nb методом SPS является передовой технологией и требует реализации и исследования свойств получаемого материала.

2 Оборудование и методы исследования

2.1 Механическая активация порошков

Механическое легирование исследуемых порошков проводилось в Лаборатории химического материаловедения Института химии твердого тела и механохимии СО РАН. Для этого использовалась планетарная шаровая мельница АГО-2С [18]. Смеси исходных порошков загружались по 10 г в рабочие стаканы объемом 135 мл вместе с мелющими телами (рис. 2.1). В качестве мелющих тел использовались шары из стали ШХ-15.



Рис. 2.1 Планетарная шаровая мельница АГО-2С

Центробежное ускорение шаров составляло 400 м/с^2 . При этом частицы порошка многократно соударялись с шарами и стенками стаканов. Из-за высоких скоростей движения порошок, мелющие тела и рабочие емкости нагревались. Для снижения температуры применялось водяное охлаждение. Для защиты порошков от окисления обработка проводилась в защитной атмосфере аргона. В стаканы загружались шары диаметром 5, 8 и 10 мм общим весом 200 г. В качестве агента контролирующего процесс использовался этиловый спирт [19].

Для МЛ использовались порошки технически чистого титана и ниобия с соотношением 55 мас. % титана и 45 мас. % ниобия (Ti-45Nb).

На рисунке 2.2 показано РЭМ изображение частиц исходного порошка Ti губчато-осколочной формы и Nb осколочной формы, характерной для

металлов, полученных электролитическим рафинированием. В этом случае порошок получают измельчением осадка [19].

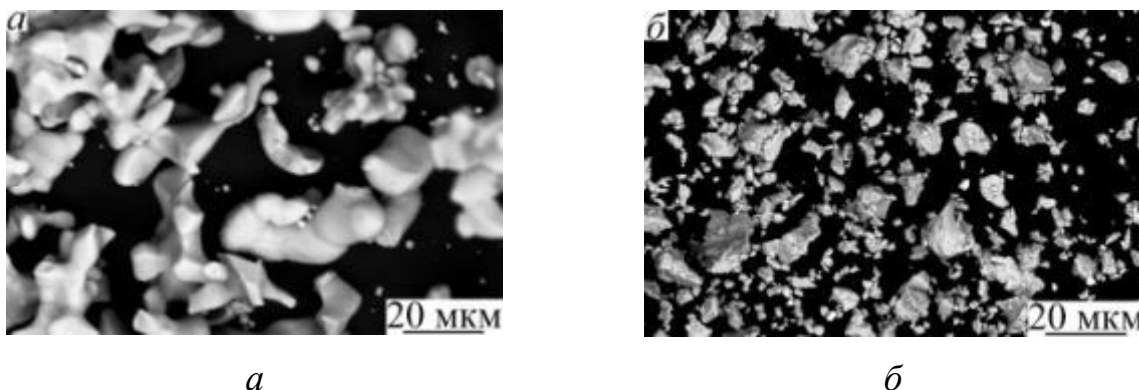


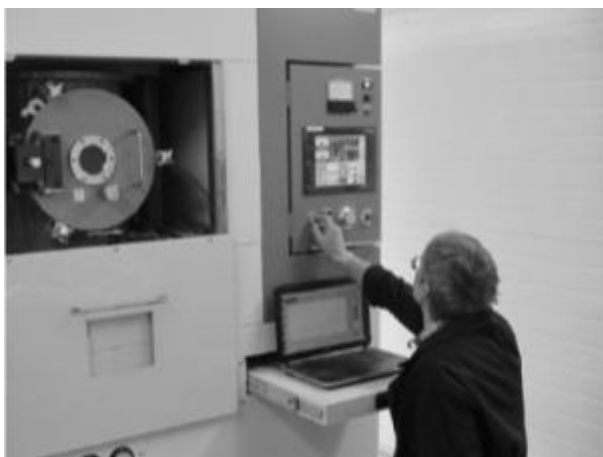
Рис. 2.2 РЭМ изображение порошка Ti (а), Nb (б) [19]

На основе анализа научных работ было выбрано время механического сплавления – 15 минут [19, 25]. После механического сплавления для снятия внутренних напряжений проводился отжиг порошков в вакуумной печи при температуре 500°C в течение 1 часа.

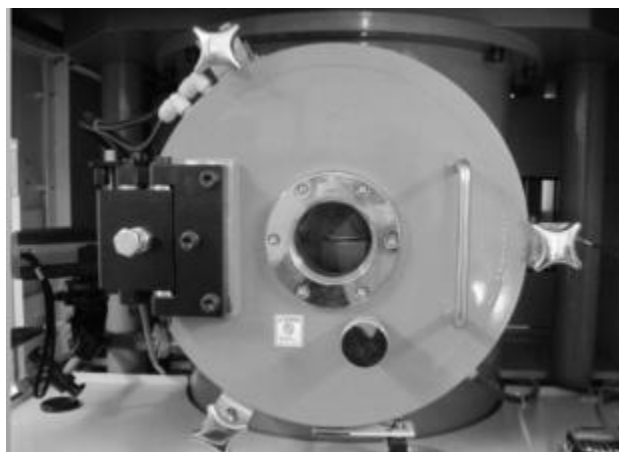
Для дальнейшего спекания под давлением были отсеяны две крупные фракции порошка 80-200 мкм и больше 200 мкм. Выбор для SPS крупной фракции порошка обусловлен анализом литературных данных, описанных в предыдущем разделе [34, 35].

2.2 Использование SPS технологии для получение компактного материала

Для проведения спекания исследуемых порошков методом SPS использовалась обору́дование находящееся в Институте гидродинамики СО РАН: SPS Labox 1575 apparatus (Japan) (рис.2.3)



а



б

Рис. 2.3 Установка SPS Labox 1575, Sinter Land Inc: а) общий вид установки, б) окно камеры

В процессе SPS в режиме реального времени отслеживаются: напряжения между электродами/плунжерами пресса, сила тока, величина нагрузки пресса, температура, уровень вакуума, усадка порошка (перемещение плунжеров пресса) и скорость усадки порошка (рис. внизу) [30].

Для проведение исследования были получены SPS образцы из механически легированного порошка в двух фракций: 80-200 мкм и более 200 мкм. Режим SPS: $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 40\text{ МПа}$, время прессования 3 минуты [41].

2.3 Методы исследования структуры и свойств

Исследования проводились в Отделении материаловедения ИШНПТ НИ ТПУ, ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН (г. Томск), ТРЦКП (г. Томск), ЦКП «Лаборатория электронной микроскопии» НГТУ (г. Новосибирск), ИХТТМ СО РАН (г. Новосибирск).

Методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) был проведен анализ морфологии, структуры, элементного состава полученного порошка. Поверхность шлифов травилась раствором 10 об. % HCl + 80 об. % H_2SO_4 +

10 об. % H_2O , затем на нее напылялось проводящее покрытие из серебра.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводился на рентгеновских дифрактометрах ДРОН-7 в монокроматическом $\text{CoK}\alpha$ -излучении и ДРОН-4 в монокроматическом $\text{CuK}\alpha$ -излучении по схеме Брегга-Брентано. Так как съемки проводились в разных излучениях, для дифрактограмм, снятых в Cu -излучении, производился пересчет угловых значений по соотношению Вульфа-Брэггов [42, 43]. Расчеты параметров решетки, соотношения фаз, областей когерентного рассеяния (ОКР), микроискажений решетки проводились в программе Powder Cell 2.4 (Германия).

Изготовление и подготовка металлографических шлифов осуществлялось в 5 основных операций: вырезка образца; закрепление образца в струбцине; шлифовка; полировка; травление (выявление микроструктуры) [42].

Вырезка образцов осуществлялась на электроискровом станке из таблеток полученных SPS. Шлифы зажимались в металлические струбцины.

Шлифование проводилась на шлифовальной установке с электроприводом. Полировка шлифа осуществлялось механическим способом на фетровом круге с использованием пасты ГОИ.

Отполированные образцы, прежде всего, были изучены под микроскопом в нетравленном состоянии. Поверхность отполированных образцов была помыта, обезжирена и высушена. Для обезжиривания применялся спирт этиловый ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Изучение нетравленного шлифа позволило определить наличие дефектов (пор, трещин, и т.п.) и неметаллических включений. На полученной поверхности металлографическим способом был проведен анализ пористости. Использовалась программа расчета пористости.

Выявление микроструктуры проводилось химическим травлением границ зерен основных фаз. Состав травителя: 40 об.% азотная кислота, 40 об.% плавиковая кислота, 20 об.% дистиллированная вода.

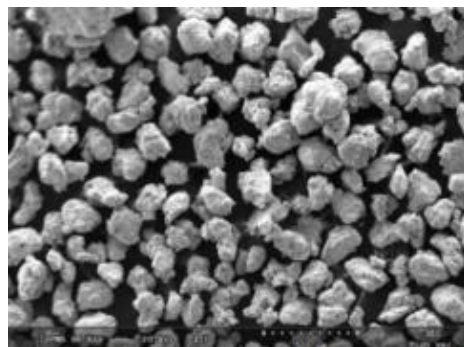
Измерение микротвердости полученных образцов осуществлялось на микротвердомере ПМТ-3. В качестве вдавливаемого инструмента (интентора) в нем применена алмазная пирамидка с квадратным основанием и углом при основании 136^0 . При испытании измеряют длину диагонали отпечатка и подсчитывают число твердости как частное от деления приложенной нагрузки на поверхность полученного отпечатка. В методе измерения микротвердости используются незначительные по величине нагрузки (от 2 до 200 г), что благоприятно сочетается с изучением микроскопического строения материала. Для оценки свойств образцов была выбрана нагрузка 100 г и количество измерений на одном образце – 60. Далее был проведен статистический анализ полученных данных [44].

3 Результаты исследований

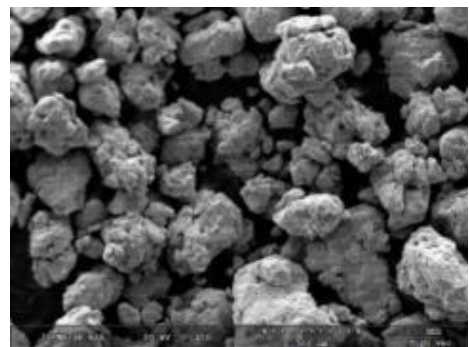
3.1 Исследование порошка Ti-45Nb, полученного механическим легированием

Из порошка, полученного механическим легированием, были отсеяны две фракции: первая – 80-200 мкм и вторая – более 200 мкм.

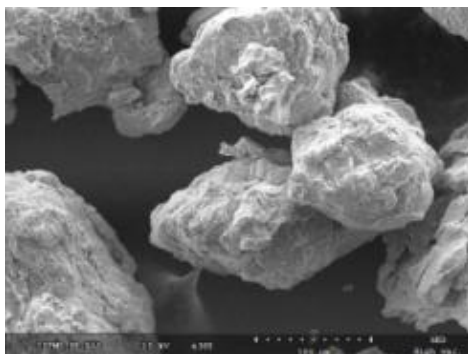
РЭМ-изображение частиц порошка обеих фракций представлены на рис. 3.1. Распределение частиц по размерам приведено на рис 3.2.



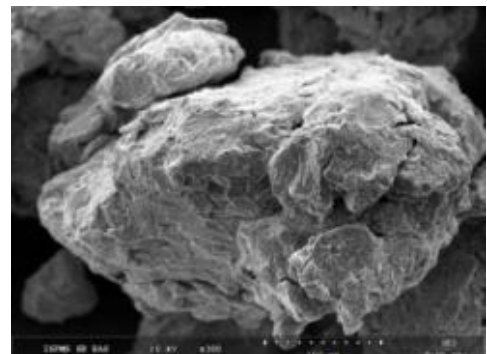
а



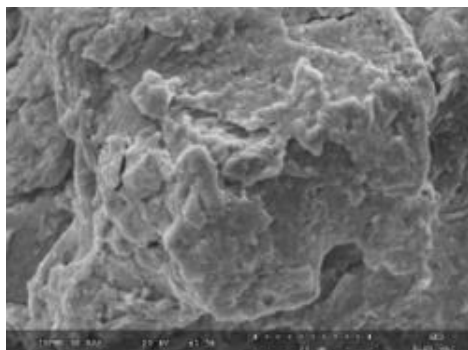
б



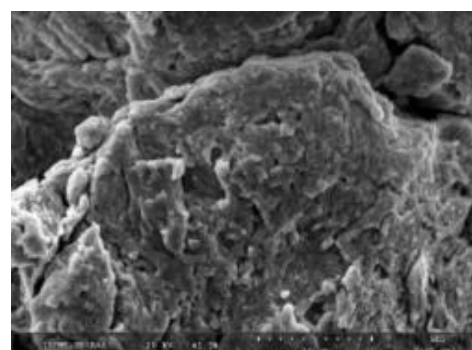
в



г



д



е

Рис. 3.1 РЭМ изображение порошка Ti-45Nb фракции 80-200 мкм (а, в, д) и больше 200 мкм (б, г, е) на разных увеличениях

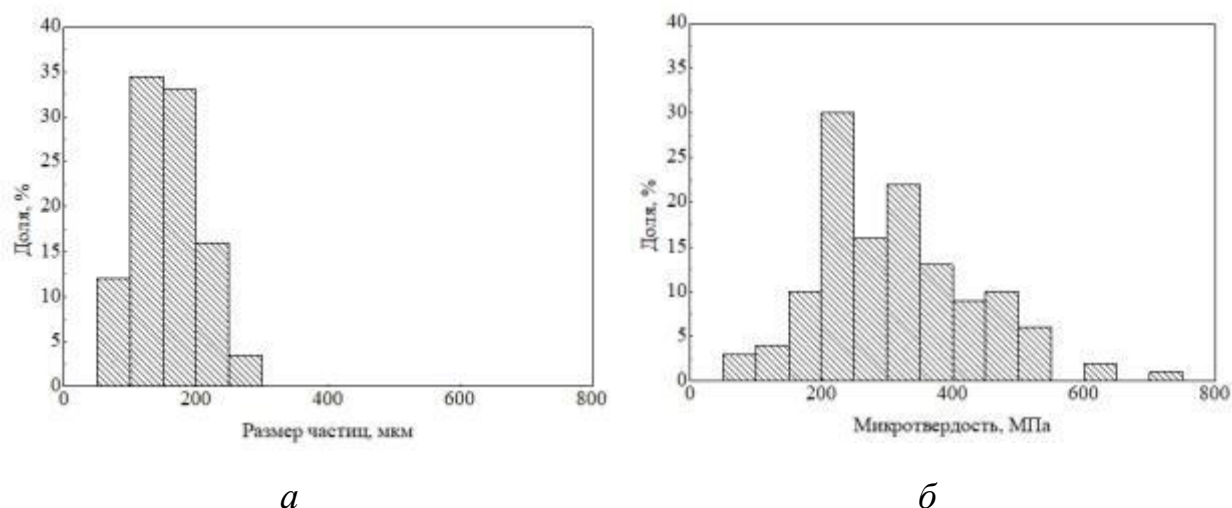


Рис. 3.2 Гистограммы распределения размера частиц порошка фракции: 80-200 мкм (а), больше 200 мкм (б)

Частицы порошка обеих фракций имеют форму окатышей со средним размером 156 мкм и 310 мкм, соответственно (рис. 3.1 а,б). Первая фракция имеет меньший разброс значений размера частиц – от 54 мкм до 287 мкм (рис. 3.2 а).

Во второй фракции наряду с большим разбросом размера частиц от 78 мкм до 743 мкм, наблюдаются мелкие частицы с размером значительно меньше ячейки сита (рис. 3.2 б). Скорее всего, их присутствие связанос тем, что мелкие частицы порошка зацепляются за очень крупные и не просеиваются в сито.

По данным РЭМ частиц порошка обеих фракций, в процессе МЛ Ti иNb равномерно распределились внутри частиц (рис. 3.3).

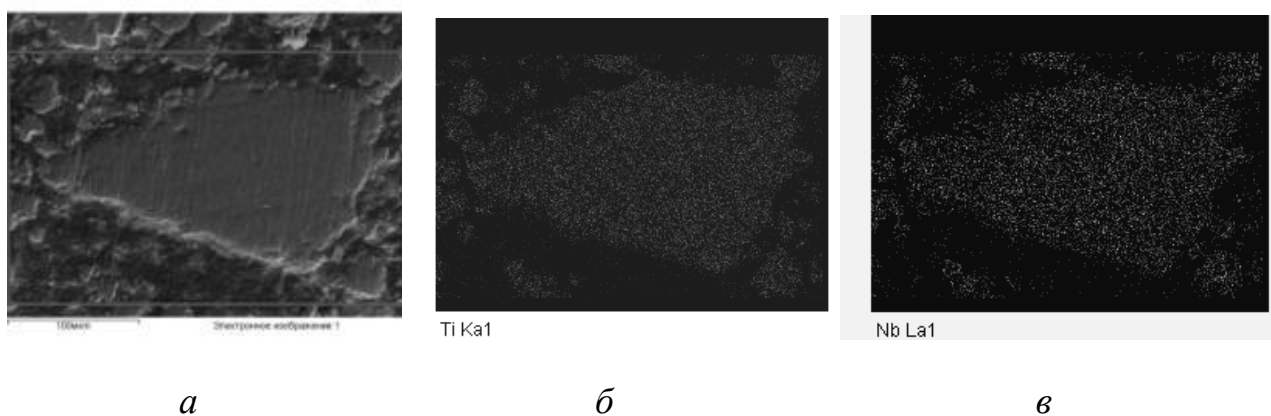


Рис. 3.3 РЭМ-изображение сечения частицы порошка Ti-45Nb, полученного механическим легированием(а) и распределение компонента Ti (б) и Nb (в) по сечению частицы

Однако, элементный анализ на отдельных участках частиц порошка показал разброс концентрации компонентов. Количество Nb меняется от 38 до 49 мас. % со средним значением 44 мас. %. Это значит, что при МЛ произошло растворения компонентов друг в друге, но ниобий неравномерно распределился в титане.

Был проведен РСА порошка обеих фракций. Влияние гранулометрического состава на фазовый состав сплава не было замечено. В обеих фракциях порошка в результате механического легирования формируется однофазное состояние. Формируется пересыщенный твердый раствор двух компонентов сплава β -TiNb с ОЦК решеткой [45]. На дифрактограмме порошка присутствуют только пики β -TiNb (рис. 3.4).

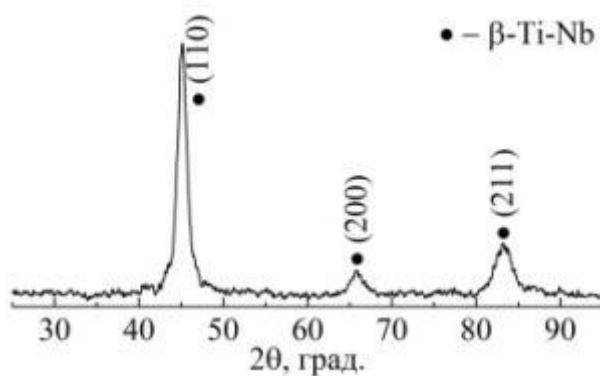
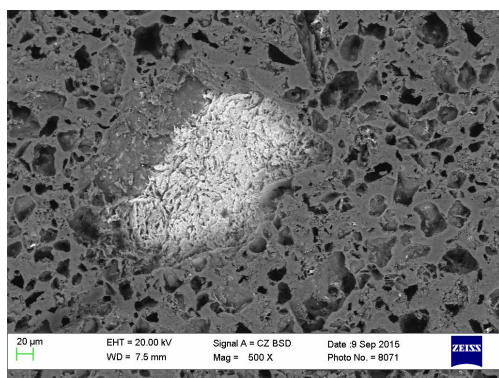


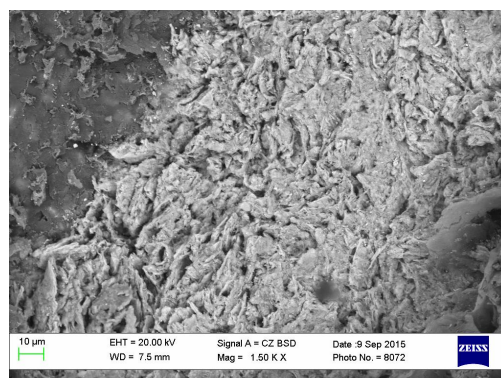
Рис. 3.4 Дифрактограмма порошка Ti-45Nb, полученного механическим легированием

Твердый раствор β -TiNb может существовать в большом интервале концентрации Nb (рис. 1.7). Поэтому данные РСА не противоречат результатам элементного анализа. В частицах в процессе МЛ сформировался твердый раствор β -TiNb, но с разной концентрацией компонентов.

На рисунке 3.5 изображена структура частиц после травления. Видно, что частица имеет слоистое строение. Зерна в структуре деформированы под действием пластической деформации.



a



б

Рис. 3.5 РЭМ-изображение после травления частицы порошка Ti-45Nb, полученного механическим легированием

3.2 Исследование образцов, полученных SPS

Для проведения исследований были получены SPS-образцы из

механически легированного порошка двух исследуемых фракций.

Образцы, полученные SPS, представляли собой диски диаметром 30 мм и высотой 6 мм. Для проведения исследований они были разделены на части с помощью электроискровой резки и не подвергались механическому воздействию (рис. 3.6).

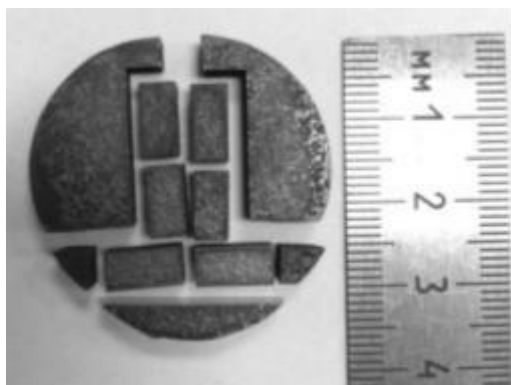


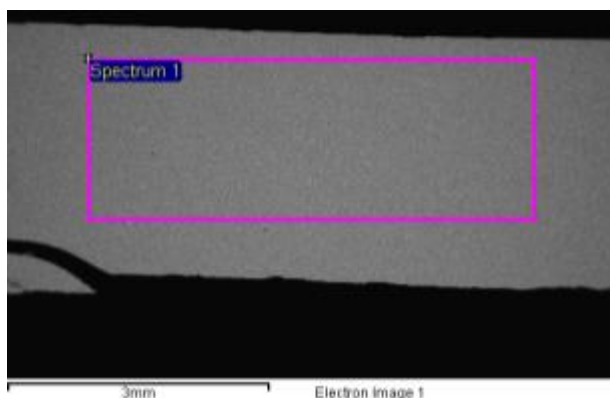
Рис. 3.6 Внешний вид образца, полученного SPS, и подготовленного для исследований

Изучение нетравленных шлифов позволило определить наличие дефектов (пор, трещин, и т.п.) и неметаллических включений. Практически все виды объемных дефектов в полученном материале отсутствуют, кроме незначительной пористости. Была оценена пористость образцов. С помощью программы на оптических изображениях нетравленных шлифов была оценена площадь темных включений. Все темные включения считались пористостью.

Для образцов, полученных из порошка первой фракции, пористость составила 0,07%, у образцов из второй более крупной фракции порошка пористость меньше – 0,03%. Это, скорее всего, связано с тем, что в порошке крупной фракции присутствовало много частиц малого размера, менее 80 мкм. Это привело в процессе сжатия и спекания порошков к более плотной укладке частиц. В большие пространства между крупными частицами попали более мелкие. В порошке более мелкой фракции, где размер частиц ближе друг к другу, такого эффекта не наблюдалось. В образцах обеих фракций

значение пористости соответствует обычным значениям[46].

Результаты элементного анализа с площади образца показали, что после спекания под давлением соотношение компонентов в объеме материала практически не меняется (рис.3.7). Однако, обнаружено содержание тантала – около 3 мас. %.



Элемент	Весовой %	Атомный%
Ti K	54.13	70.21
Nb L	43.13	28.85
Ta M	2.74	0.94
Итого	100.00	

а

б

Рис. 3.7 Данные элементного анализа с площади образца, полученного SPS: а – РЭМ изображение, б – соотношение элементов

При исследовании РЭМ-изображений на большем увеличении было отмечено, что наряду с характерной для спеченного сплава структуры в материале наблюдаются включения, имеющие другой вид (рис. 3.8).

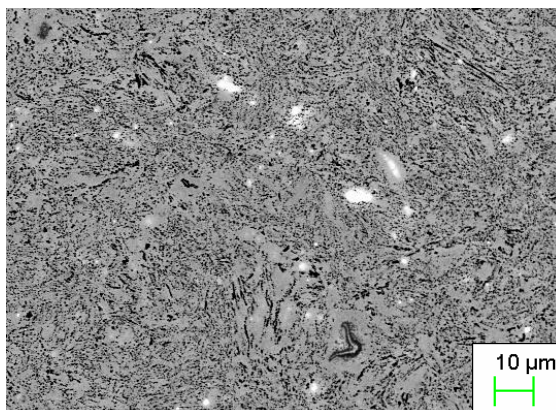


Рис. 3.8 РЭМ изображение образца, полученного из порошка Ti-45Nb методом SPS

Поэтому был проведен элементный анализ в отдельных точках. Полученные данные представлены на рисунке 3.9.

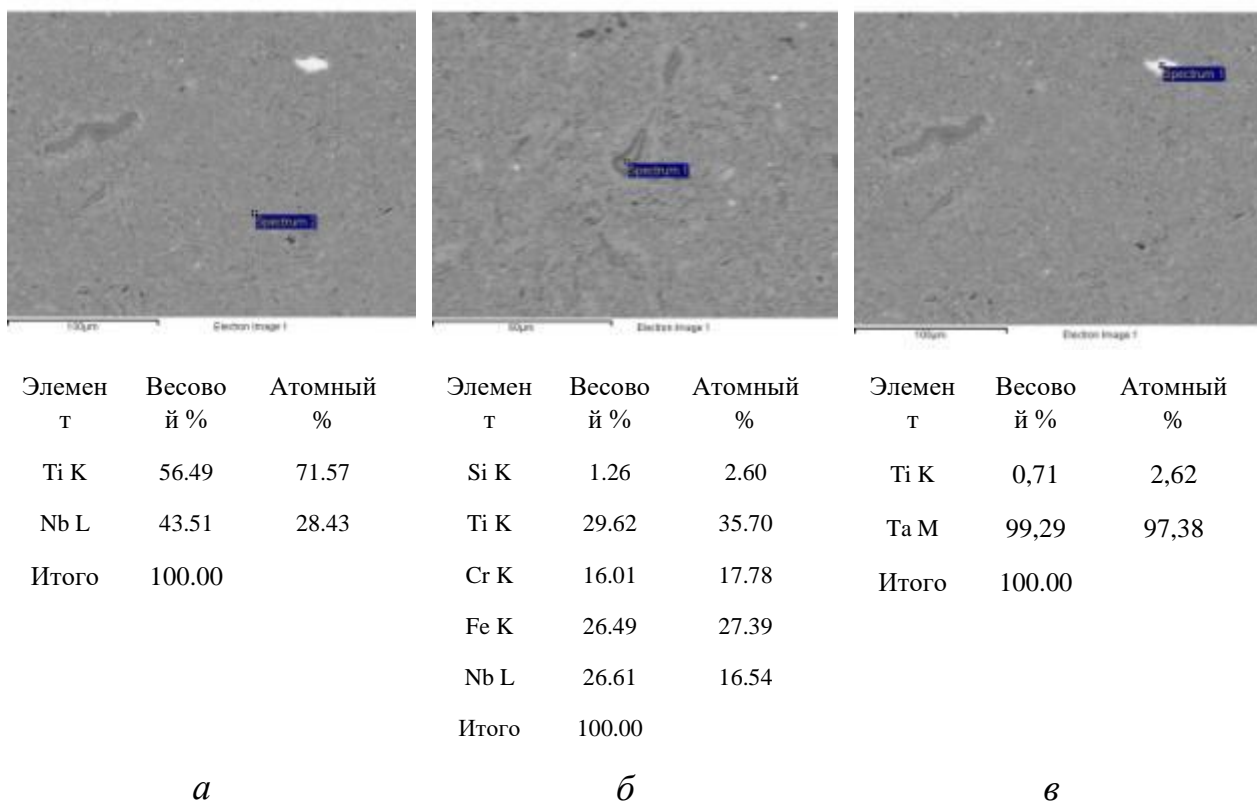


Рис. 3.9 Данные элементного анализа в отдельных точках образца, полученного SPS: *а* – основной материал, *б* – чешуйка стали, *в* – частица Ta

Было определено, что в материале присутствуют отдельные частицы в виде чешуек. Чешуйки имеют состав близкий к стали с примесью компонентов порошка (рис. 3.9 б). Это значит, что в используемом порошке оказались частицы футеровки мельницы, которая сделана из стали. Такой эффект часто наблюдается в порошках, полученных МЛ [46].

Белыми частицами оказался Ta (рис. 3.9 в). Он является сопутствующим элементом Nb и часто входит в состав технически чистого порошка Nb. Объяснить, почему Ta взаимодействовал с Ti и Nb в ходе МЛ, не удалось. Поэтому, наличие Ta в материале можно считать артефактом.

На рисунке 3.10 показаны металлографические изображения образцов,

полученных SPS. Поверхность образцов фотографировалась после травления.

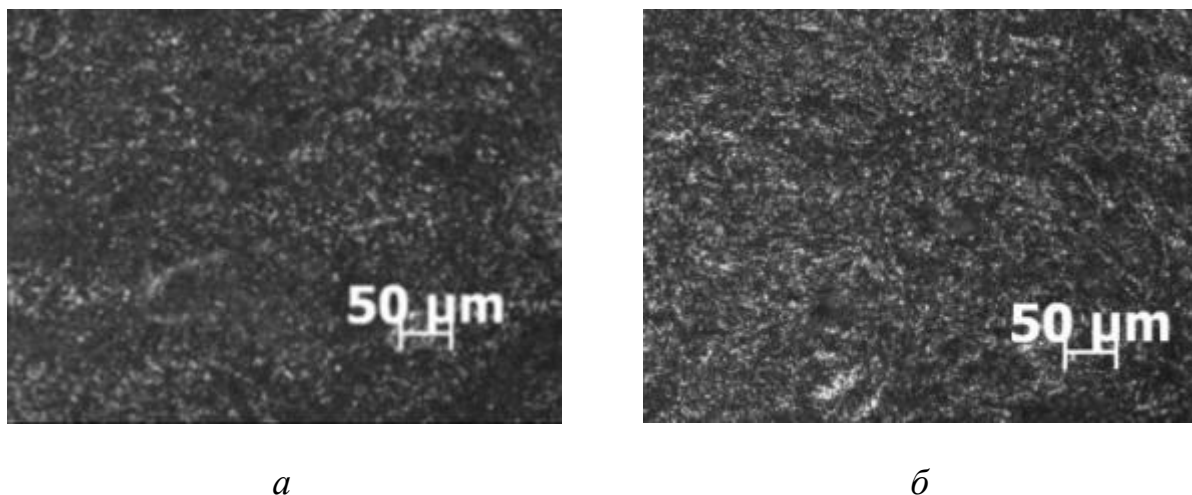


Рис. 3.10 Металлографическое изображение образца, полученного SPS: фракция 80-200 мкм (а) и больше 200 мкм (б)

У материала мелкозернистое строение со следами экструзии. Границ между отдельными частицами спеченного порошка не наблюдается.

По характеру структуры можно сказать, что в процессе SPS порошок Ti-45Nb не переплавился, а только нагрелся и деформировался в нагретом состоянии с возможным под плавлением мест контакта порошка. В случае, когда весь материал плавится, формируется структура, которая выглядит по другому. В структуре формируются равно осные зерна [47].

С помощью металлографии на больших увеличениях удалось определить размер отдельных зерен, который составляет около 1-3 мкм.

Отличием структуры образцов, полученных из порошка более крупной фракции, является более выраженное завихрение структурных составляющих. Однако, для численного описания данной особенности требуется более тщательный анализ структуры полученного материала.

На рисунке 3.11 представлены дифрактограммы SPS образцов из порошкардвух фракций.Ренгенограммы двух образцов не отличаются.

По данным РСА, в образцах, наряду с β -TiNb зафиксировалась вторая фаза.

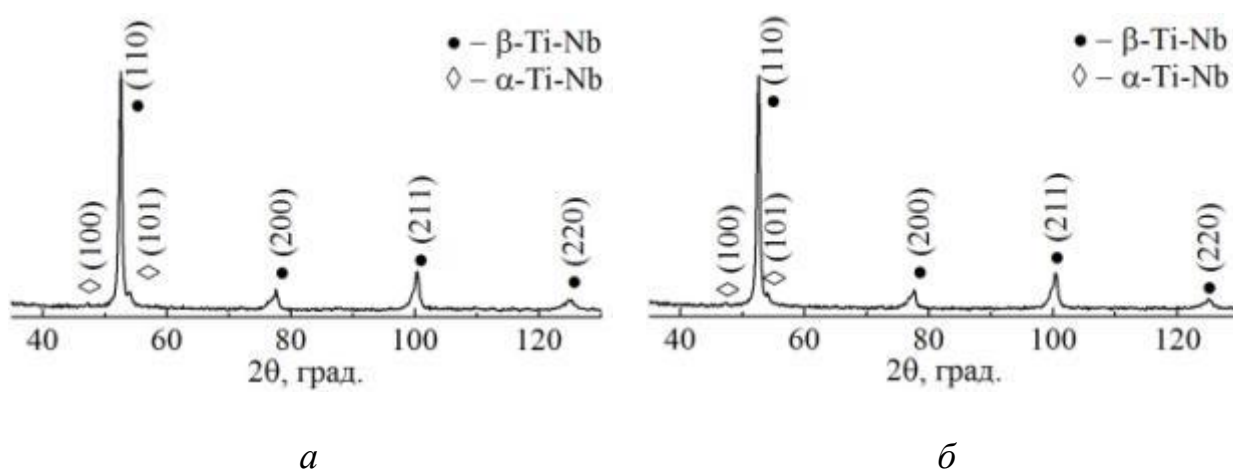
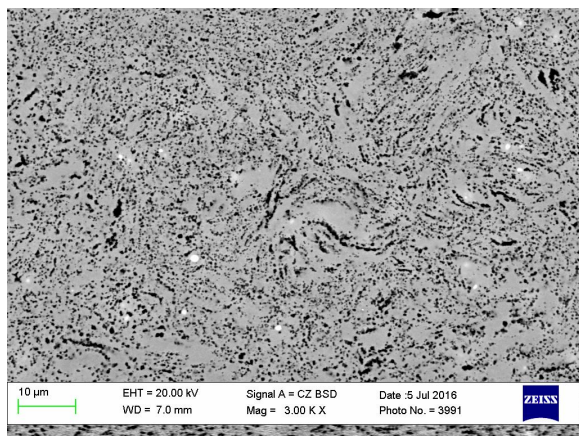


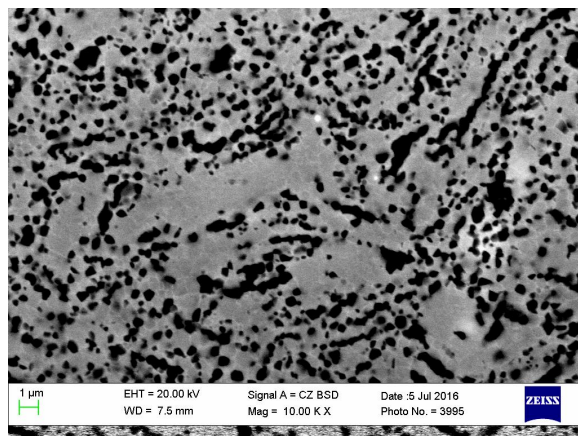
Рис. 3.11 Рентгенограмма образцов полученного SPS: 80-200 мкм (а) и больше 200 мкм (б)

Это α -фаза – твердый раствор Nb в Ti с ГЦК решеткой. Так как α -фаза является равновесной, ее выделение из β -TiNb является следствием снижения уровня внутренних напряжений в зонах, обедненных Nb.

На основе полученных РЭМ изображений образцов на большом увеличении (рис. 3.12) и литературных данных [46] можно определить, что основной структурной составляющей является β -TiNb. Онокрашен на фото в серый цвет. По границам зерен β -фазы располагаются включения α -фазы (черный цвет).



a



б

Рис. 3.12 РЭМ изображение образца, полученного из порошка Ti-45Nb методом SPS

Оценка механических свойств образцов, полученных SPS, производилась с помощью измерения микротвердости и проведения испытаний на сжатие.

Значения микротвердости всех образцов находятся в интервале 350-475 МПа со средним значением для материала, полученного из порошка первой фракции 425 МПа, второй фракции – 400 МПа.

Кривые сжатия для полученного материала представлены на рис. 3.13. Видно, что кривые сжатия образцов, полученных из порошка разной фракции, имеют одинаковый вид и близкие значения деформации сжатия, превышающие 25%.

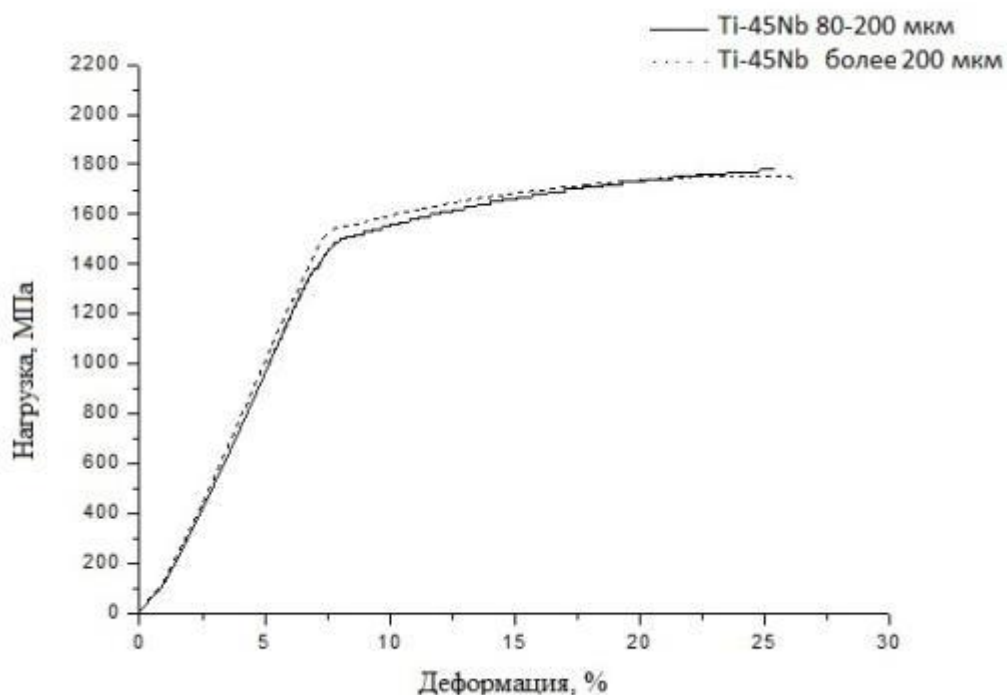


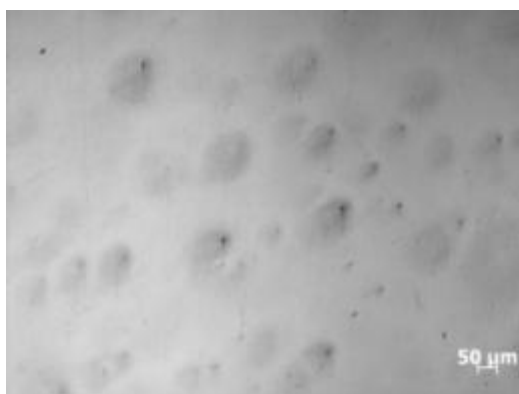
Рис. 3.13 Кривые сжатия образцов, полученных SPS

На основе полученных результатов исследований можно заключить, что размер спекаемых частиц практически не влияет на механические свойства. Некоторое снижение значения микротвердости материала, полученного из частиц большей фракции, может быть связано с отличиями протекании процессов спекания и компактирования, что приводит к формированию более равновесной структуры.

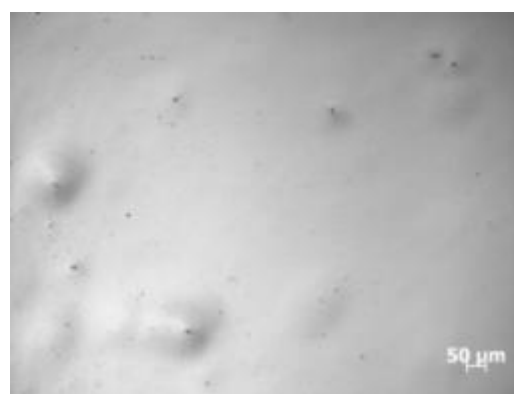
3.3 Влияние отжига на строение образцов

Отжиг образцов проводился в двух температурах: 400 °С и 600 °С. Далее проводился комплекс исследований, повторяющий предыдущие.

Оценка пористости показала, что при отжиге пористость не меняется в обоих случаях (рис. 3.14, таблица 3.1).



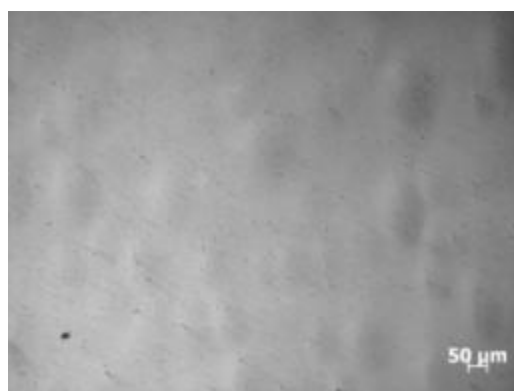
а



б



в



г

Рис. 3.14 Металлографическое изображение образцов, полученных SPS после отжига из порошка 80-200 мкм – 400⁰С (а), 600⁰С (б) и больше 200 мкм – 400⁰С (в), 600⁰С (г)

Таблица 3.1

Значения пористости образцов, полученных SPS после отжига

	Пористость (%)			
Рис	TiNb 80 отжиг 400	TiNb 80 отжиг 600	TiNb125отжиг 400	TiNb125отжиг 600
1	0,05	0,03	0,02	0,03
2	0,11	0,2	0,003	0,01
3	0,14	0,07	0,01	0,01
4	0,11	0,04	0,03	0,01

5	0,05	0,07	0,03	0,01
6	0,14	0,03	0,01	0,01
7	0,06	0,03	0,01	0,01
8	0,03	0,10	0,03	0,01
9	0,03	0,07	0,11	0,01
10	0,01	0,05	0,07	0,01
Ср.	$0,07 \pm 0,045$	$0,07 \pm 0,049$	$0,03 \pm 0,032$	$0,01 \pm 0,006$

С помощью РСА было определено, что значительных фазовых превращений при нагреве образцов не происходит (рис. 3.15).

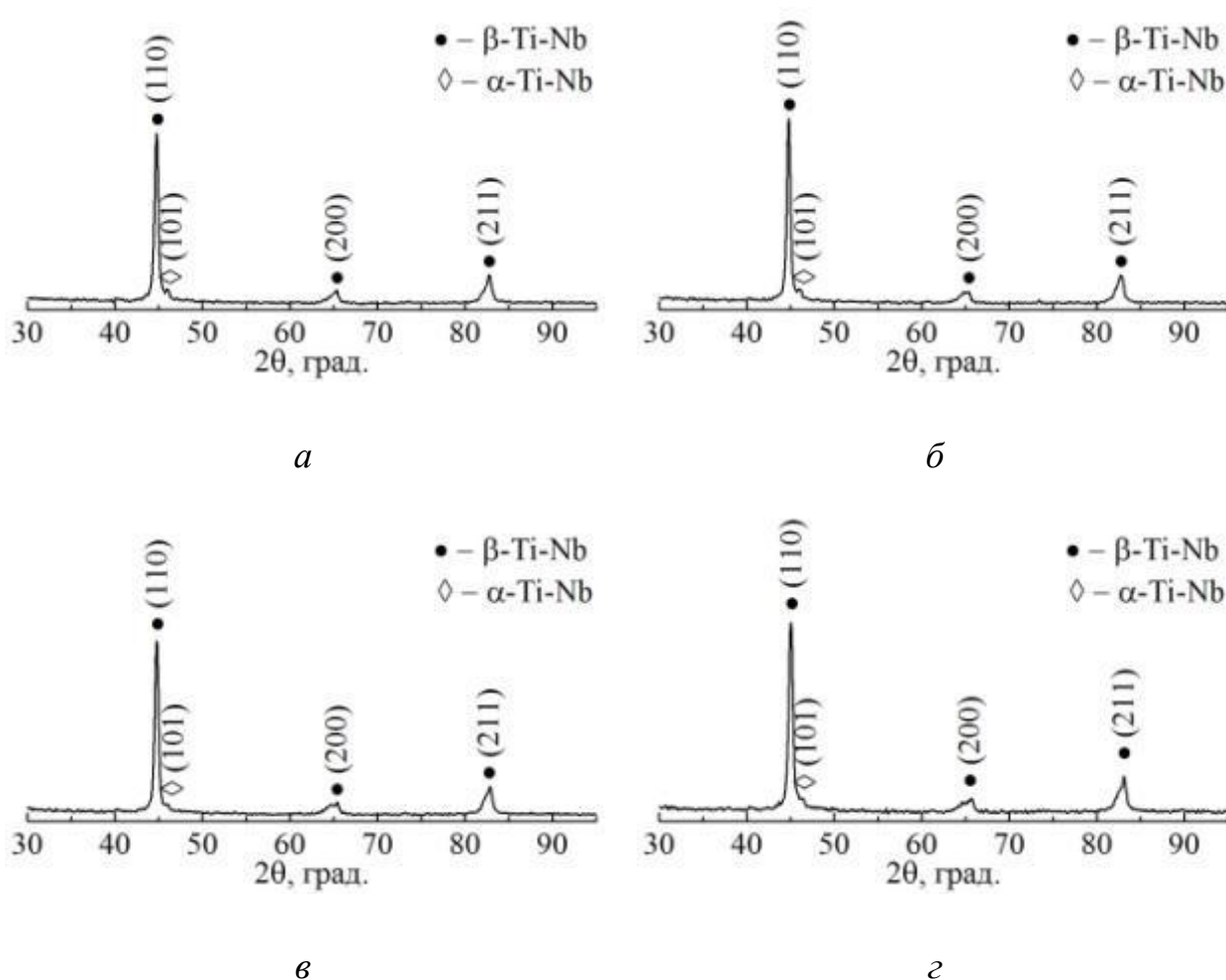


Рис. 3.15 Дифрактограммы образцов, полученный SPS после отжига: 80-200 мкм 400°C (а), 600°C (б) и больше 200 мкм 400°C (в), 600°C (г)

С помощью расчетов определено, что при отжиге несколько увеличивается доля α -фазы. Так, на образце, полученном из порошка меньшей фракции, с увеличением температуры отжига доля α -фазы увеличивается с 6 до 8 и 9% соответственно. Для образца, полученного из порошка большей фракции, с увеличением температуры отжига доля α -фазы увеличивается с 6 до 7 и 8% соответственно.

Для выявления микроструктуры проводилось химическое травление границ зерен основных фаз (рис. 3.16)

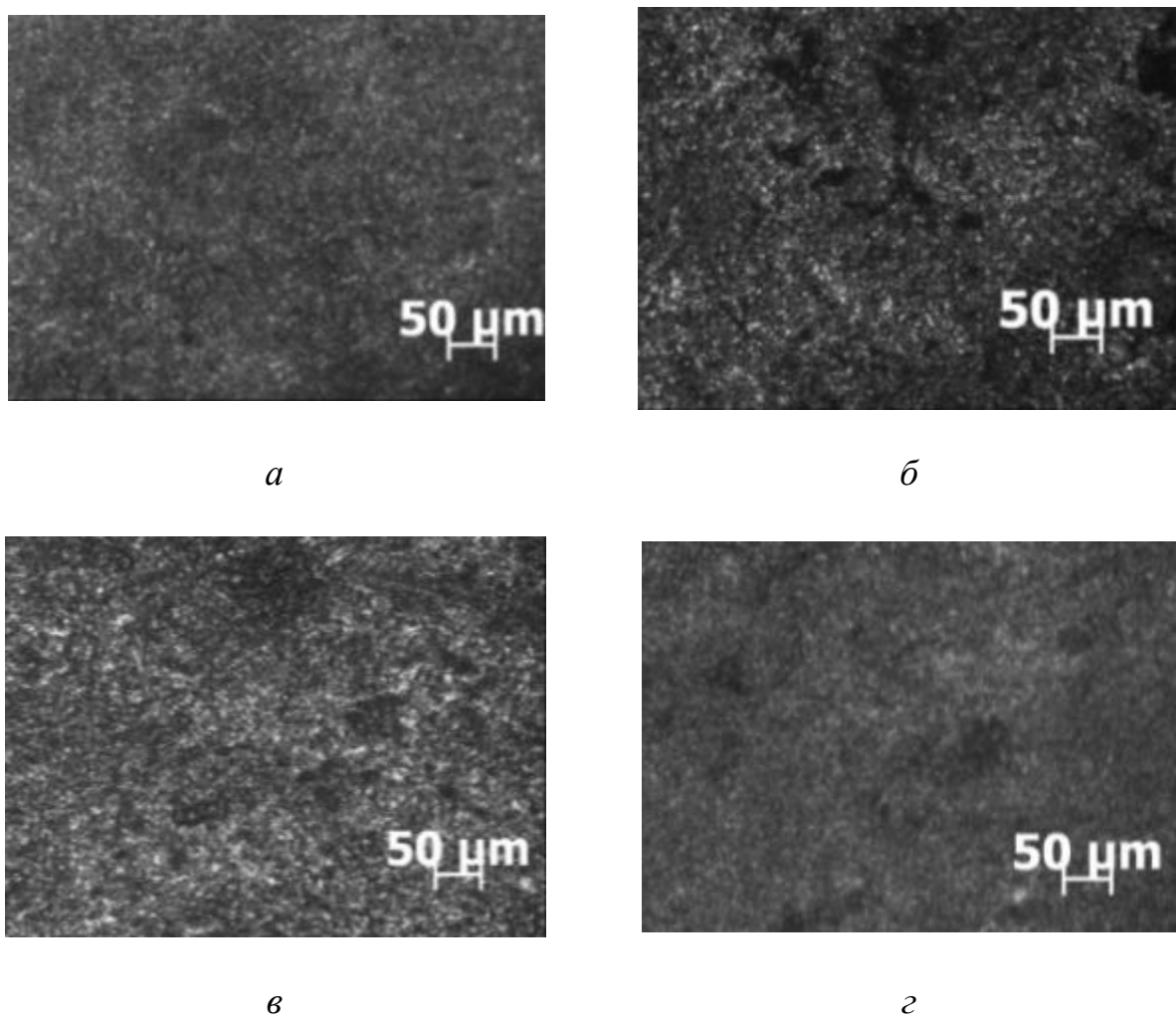


Рис. 3.16 Металлографическое изображение образцов, полученных SPS после отжига из порошка 80-200 мкм – 400⁰С (а), 600⁰С (б) и больше 200 мкм – 400⁰С (в), 600⁰С (г)

Отмечено, что после отжига в структуре не наблюдаются следы экструзии. Это означает, что проходят процессы частичной перестройки микроструктуры.

При измерении микротвердости определено, что отжиг приводит к увеличению значений микротвердости (таблица 3.2). Это может быть связано с увеличением доли α -фазы, так как известно, что она твердая. Увеличение ее доли увеличивает совокупную микротвердость материала [46].

Таблица 3.2

Сравнения показателей средних значений микротвердости образцов

Фракция используемого порошка	Микротвердость, МПа		
	Без отжига	400 ⁰ С	600 ⁰ С
80-200 мкм	425±21	460±40	490±55
больше 200 мкм	400±26	435±47	510±59

На кривых сжатия видно, что отжиг несколько снижает прочность материала (рис. 3.17).

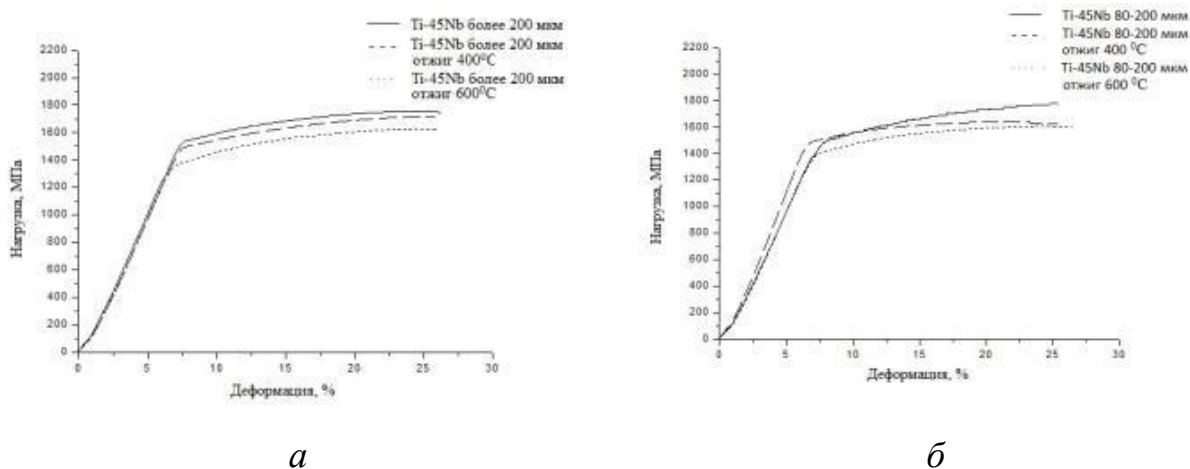


Рис. 3.17 Кривые сжатия образцов, полученных SPS из порошка фракции: а – 80-200 мкм, б – более 200 мкм

Снижение прочностных характеристик может быть обусловлено изменением структуры в ходе отжига.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Токтасынову Ержану Еркасымулы

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску; - ресурсы НИ ТПУ (лаборатория)
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - прочие расходы – 10%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- общая система налогообложения; - страховые взносы во внебюджетные фонды 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 2. SWOT-анализ 3. Инициация проекта
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика проекта: - Определение структур работ; - Определение трудоемкости работ; - Разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности научного исследования

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей</i>
4. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2020
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		20.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Токтасынов Ержан Еркасымулы		20.02.2020

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Введение

В этом разделе магистерской диссертации рассмотрены вопросы, касающиеся финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения исследовательской работы. Целью этого раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта на тему: получение материала электроискровым спеканием под давлением из механически сплавленных порошков Ti-45Nb. Для достижения вышеупомянутой цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Разработать общую экономическую идею проекта, сформировать концепции проекта;
- Организовать работы по научно-исследовательскому проекту;
- Определить возможные альтернативные проведения научных исследований;
- Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Определить ресурсную (ресурсосберегающую), финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективность исследования.

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. На сегодняшний день сплавы системы Ti-Nb всё чаще используются в электротехнике и медицине как основа для имплантов. Особенностью механического сплавления является

порошкообразная форма получаемого продукта, требующая для создания конструкционного материала дальнейшего компактирования. Одним из перспективных методов компактирования является электроискровое спекание под давлением. В англоязычных научных изданиях этот метод называется Spark Plasma Sintering (SPS). При спекании порошка на материал одновременно воздействует постоянный ток в импульсном режиме, температура и давление. Импульсный режим обеспечивает локальный нагрев контактных зон на границе частиц и их быстрое охлаждение, а высокая плотность межзеренных границ механокомпозита и большой запас свободной энергии при последующем нагреве способствует интенсификации процесса спекания и сохранению ценных структурных характеристик материала в спеченном состоянии.

Данный анализ выполним с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{κ}	K_{ϕ}	K_{κ}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
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

Экономические критерии оценки эффективности					
1.Конкурентоспособность продукта	0,10	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
Итого	1	37	27	3,95	3,0

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, из проведенного анализа видно, что композиционные порошки являются конкурентоспособными. По сравнению с конкурентными разработками, эти порошки имеют значительное преимущество по следующим параметрам:

- повышение производительности труда;
- энергоэкономичность;
- цена.

4.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – это выявление сильных (S – strenght) и слабых (W – weakness) сторон исследуемого объекта, что описывает внутреннюю среду, а также возможностей (O – opportunities) и угроз (T – troubles) внешней среды.

Одним из эффективных средств сокращения расхода инструмента при сокращении 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 оптимальных условий формирования покрытия с заданными служебными характеристиками, увеличение срока службы инструмента, улучшение качества обрабатываемой поверхности, эффективное использование оборудования, снижение себестоимости изделия.

Но не смотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не усовершенствована технология получения порошков, которые используются для спекания, а также сама технология получения SPS не до конца отработана, поэтому возникают некоторые трудности при получении j.

Таблица 4.2

Матрица SWOT

		Сильные стороны научно исследовательского проекта: С1.Возможность модифицирования состава исходного материала ; С2. Высокая работоспособность изделия; С3. Улучшение свойств обрабатываемой поверхности; С4. Снижение себестоимости изделия	Слабые стороны научно исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки; Сл2. Не отработана технология получения порошков, которые в дальнейшем используются для нанесения покрытий; Сл3.Вероятность структурообразования составов; Сл4.Вероятность получения брака;
Возможности: Использование	B1.	C1 B2 внедрения технологии в производство	B1Сл4 –новейшее оборудование, позволит на

<p>инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е использование научного оборудования); В2. Возможность внедрения технологии в производство; В3. Возможность участие в грантах, для повышения производительности изделия; В4.Появление дополнительного спроса на новый продукт;</p>	<p>за счет варьирования состава; С4 В2 – вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия); С2В3 участие в грантах приводят к улучшению высокой работоспособности изделия;</p>	<p>ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака</p>
<p>Угрозы: У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований. У2. Отсутствие оборудования для массового производства; У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия ;</p>	<p>С1У1-возможность варьированием состава, позволит создавать новые и более качественные конкурентоспособные изделия.</p>	<p>Сл2У2- при применении технологии для серийного производство возрастает вероятность потери времени для спекания порошков уже известной технологией.</p>

4.4 Цели и результат проекта

Таблица 4.3

Для получения результатов заинтересованы следующие стороны

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

Таблица 4.4

Информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей

Цели проекта:	1. Методом СПС синтезировать порошки Ti-40Nb. 2. Исследовать микроструктуру и фазовый состав СВС порошков. 3. Определить твердость, износостойкость образца. 4. Исследовать структуру и свойства полученных образцов.
Ожидаемые результаты проекта:	Износостойкий материал, который будут отвечать всем технологическим свойствам, необходимые для имплантов, также прочность изделия позволяют заменить дорогие импланты на более недорогой, но не уступающие по качеству.
Критерии приемки результата проекта:	Законченная научно-исследовательская работа, автор которой имеют список публикаций и участие на международных конференциях.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение
	Выполнения проекта в срок

4.4.1. Контрольные события проекта

Таблица 4.5.

Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
Обсуждение плана проект	01.09.18	Утверждение участников исследования
Сбор необходимой информации	01.10.18	Отчет по изученной литературе.
Получение композиционных порошков	15.10.18	Композиционные порошки
Исследование полученных порошков	17.11.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
Описание результатов	24.04.19	Отчет
Получение образцов	08.09.19	Образец
Исследование полученных образцов	20.11.19	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
Описание результатов	21.02.20	Отчет
Отчет по исследовательской работе	23.04.20	Отчет
Защита ВКР	22.06.20	диплом

4.5 Потенциальные потребители результатов исследования

Научный проект заинтересован в тех потребителях, которые заинтересованы в его разработке. Следовательно, необходимо четко представлять, кто является конечным потребителем проекта или, кто может стать им в будущем и по какой причине они эту разработку приобретают, т. е. в итоге определить свой целевой рынок.

Рассмотрим целевой рынок и проведем сегментирование по применению порошковых материалов и изделий из них, в различных отраслях промышленности. Принимаются во внимание два критерия: отрасль промышленности и объем потребления. На основании этих критериев составляется карта сегментирования рынка в виде таблицы 4.6.

Из анализа сегментов рынка видно, что композиционные изделия с крупным объемом потребления относятся к космической промышленности и авиастроению, средний объем относится к машиностроению, а мелкий объем потребления к приборостроительной отрасли.

Таблица 4.6

Карта сегментирования рынка

		Отрасль промышленности		
		Машиностроение	Космическое промышленность и авиастроение	Приборостроение
Размер компаний	Мелкий			+
	Средний			+
	Крупный			+

4.6 Расчет затрат

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- прочие (накладные расходы) расходы.
- затрат на оборудование
- амортизационные расходы
-

4.6.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов и оборудование. В стоимость материальных затрат включают транспортно-

заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Расходы, связанные с приобретением сырья, материалов и комплектующих изделий, а также транспортно-заготовительные расходы для проведения исследования представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Марка	Кол-во	Цена за ед., руб	Сумма, руб.
Порошок титана, ТПП-8	ТПП-8	1 кг	4800	4800
Порошок ниобия, НПБ-а	НПБ-а	1 кг	3978	3978
Титановая пластинка		5 шт	300	1500
Наждачная бумага	P60, P120, P240	10 шт	25	250
Алмазная паста	6, 9, 15 микрон	5 шт	300	1500
Электроэнергия				1435,15
Всего за материалы				13463,15

4.6.2. Расчет затрат на оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 4.8

Список оборудования для исследования

№	Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб
---	---------------------------	--------	-------------------------------------	---------------------------------------

1	Планетарная шаровая мельница АГО-2С	1	750	750
2	Установка SPS Labox 1575	1	790	790
3	Активатор 2s	1	530	530
4	Вытяжной шкаф	1	26,23	26,23
5	Полировальный станок «Saphir 520»	1	95	95
6	Микроскоп «Axiovert 200 mat»	1	34,795	34,795
7	Компьютер	1	35	35
Итого:				2261,025

4.6.3. Расчет амортизационных расходов

Во время использования машины, машина неизбежно будет иметь старое явление, поэтому мы должны рассчитать старые потери оборудования.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}),$$

где Ц – цена оборудования, руб.;

$F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

$F_{сс}$ – срок службы оборудования, год; $F_{ф}$ – фактическое время занятости оборудования, ч.

$$F_{н} = 250 \text{ дней} = 6000 \text{ ч.}$$

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 4.9.

Таблица 4.9

Расчет амортизационных отчислений

№	Наименование оборудования	Ц, руб	$F_{сс}$, год	$F_{ф}$, ч	$З_{об}$, руб.
1	Планетарная шаровая мельница АГО-2С	750000	25	4	20
2	Установка SPS Labox 1575	790000	25	4	21,1
3	Активатор 2s	530000	20	3	13,25
4	Вытяжной шкаф	26230	5	25	21,9

5	Полировальный станок «Saphir 520»	95000	10	15	23,75
6	Микроскоп «Axiovert 200 mat»	34795	10	1,5	0,87
7	Компьютер	35000	5	10	11,66
Итого:					112,53

4.6.4. Расчет заработной платы

Для расчета заработной платы нужно определить трудоемкость выполняемой работы.

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула (4.2):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел/дн.; t_{\min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.; t_{\max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{PD} = \frac{t_{ож}}{K_{BH}} \cdot K_D \quad (4.3)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

K_{BH} – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{BH} = 1$;

K_D – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_D = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

$$T_{KD} = T_{PD} \cdot T_K \quad (4.4)$$

где T_{KD} – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4.5)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 118$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 14$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

В таблице 4.9 приведена продолжительность этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3-5) реализован экспертный способ по формуле (4.2). Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта

(научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_D = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} * K_D$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на T_K (здесь оно равно 1,205). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{КД}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в табл. 4.10.

Расчёт трудозатрат на поиск и изучение материалов:

Определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$:

$$T_{ож} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$), при $K_D = 1,2$:

$$T_{РД} = \frac{2,8 \cdot 1,2}{1} = 3,36;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) для научного руководителя, при $K_D = 1,2$:

$$T_{РД} = \frac{2,8 \cdot 1,2 \cdot 0,2}{1} = 0,67;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) для студента, при $K_D = 1,2$:

$$T_{РД} = \frac{2,8 \cdot 1,2 \cdot 1}{1} = 3,36;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях:

$$T_{КД} = 3,36 \cdot 1,56 = 5,24;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях, для научного руководителя:

$$T_{KD} = 3,36 \cdot 1,56 \cdot 0,2 = 1,04;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях:

$$T_{KD} = 3,36 \cdot 1,56 = 5,24.$$

Таблица 4.10

Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнитель и	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.					
					$T_{РД}$			$T_{КД}$		
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	ИНЖ	НР	И	ИНЖ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Постановка целей и задач.	НР	1	3	1,8	2,16	–	–	2,6	–	–
Разработка календарного плана.	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,34	–	4,05	4,1	–
Подбор и изучение литературы по тематике.	НР, И	7	11	8,6	2,1	10,32	–	2,53	12,44	–
Подготовка литературного обзора	НР, И	6	10	7,6	1,37	9,12	–	1,65	10,99	–
Подготовка материалов	НР, И	10	12	10,8	12,96	2,6	–	15,62	3,13	–
Выполнение исследовательской работы.	И, ИНЖ	21	28	23,8	2,86	28,56	22,85	3,45	34,41	27,53
Анализ результатов	НР, И	15	19	16,6	17,93	19,92	–	21,61	24	–
Оформление результатов исследования	И	23	26	24,2	–	29,04	–	–	34,99	–
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46	7,44	–	5,37	8,97	–
Итого:				102,4	47,2	100,34	22,85	56,88	123,0	27,53

Таблица 4.11

Линейный график работ

Этап	НР	И	ИНЖ	Февраль 2020			Март 2020			Апрель 2020			Май 2020		
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
1	2,6	–	–	■											
2	4,05	4,1	–	■	■										
3	2,53	12,44	–		■	■									
4	1,65	10,99	–			■	■	■							
5	15,62	3,13	–				■								
6	3,45	34,41	22,85				■	■	■	■	■				
7	21,61	24	–							■	■	■			
8	–	34,99	–							■	■	■	■	■	
9	5,37	8,97	–											■	■

НР – ■ И – ■ ИНЖ – ■

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = МО/20,58 \quad (4.5)$$

учитывающей, что в году 247 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 20,58 рабочих дня (при пятидневной рабочей неделе).

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.5. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.9. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,113$; (при пятидневной рабочей неделе) $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,113 * 1,3 = 1,62$.

Таблица 4.12

Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33664	2178,9	47	1,62	165901,06
ИНЖ	26298	1702,14	23	1,62	111491,64
И	10 633	688,22	100	1,62	63 603,79
Итого:					340814,69

4.6.5 Социальные отчисления работникам

Социальные отчисления работникам включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 340\,814,69 \cdot 0,3 = 102\,244,32$ руб.

4.6.6. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}} \quad (4.6)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\text{Ц}_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{Ц}_{\text{э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 4.2 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (4.7)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_C \quad (4.8)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 4.12.

Таблица 4.13

Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}, \text{час}$	Потребляемая мощность $P_{об}, \text{кВт}$	Затраты $\Delta_{об}, \text{руб.}$
Планетарная шаровая мельница АГО-2С	9,8	1,5	84,5
Установка SPS Labox 1575	11,2	18	1158,8
Полировальный станок «Saphir 520»	7	3,2	128,8
Микроскоп «Axiovert 200 mat»	7,7	0,1	4,42
Персональный компьютер	34	0,3	58,63
Итого:			1435,15

4.6.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Исследование синтезированных порошковых композитов *Ti-Al-C*».

Таблица 4.14

Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	13463,15
Общая заработная плата	$C_{\text{зп}}$	340 814,69

Расходы на электроэнергию	$C_{эл.}$	1435,15
Социальные отчисления	$C_{соц.}$	102 244,32
Стоимость оборудования		2 261 025
Итого:		2 714 164,11

4.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.7.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков (cashflow). Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.15. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, норма амортизации - 10 %.

Бюджет проекта=2714200 руб. **Стр.4** (Операционные затраты)=Сырье+Амортизация +ФОТ(Осн.ЗП+доп.ЗП.соц.отч.) Вреал.=Бюджет (себестоимость)*1,2; Ц=C*(1+P/100)

Таблица 4.15

Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	3257040	3257040	3257040	3257040
2	Итого приток, руб.	0	3257040	3257040	3257040	3257040
3	Инвестиционные издержки, руб.	-2714200	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	454700	454700	454700	454700
5	Налогооблагаемая прибыль	0	2802340	2802340	2802340	2802340
6	Налоги 20 %, руб.	0	560468	560468	560468	560468
7	Итого отток, руб.	-2714200	1015168	1015168	1015168	1015168
8	Чистая прибыль, руб.	0	2211872	2211872	2211872	2211872
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-2714200	2483292	2483292	2483292	2483292
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,833333	0,694444	0,578704	0,482253
11	Чистый дисконтированный доход (ЧДД), руб.	-2714200	2069410	1724508	1437091	1197575
12	$\sum ЧДД$	3714384				
12	Итого NPV, млн руб.	1000184				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1000184млн. рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, млн. руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, млн. руб.

$$PI = 3714384 / 2714200 = 1,37$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или **IRR**. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или **NPV** = 0. По разности между **IRR** и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе **IRR** к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{ont}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}$$

Между чистой текущей стоимостью (**NPV**) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.16 и на рисунке 4.2.

Таблица 4.16

Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, млн. руб.
1	Чистые денежные потоки, млн. руб.	-2714200	2483292	2483292	2483292	2483292	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный доход, млн. руб.						
	0,1	-2714200	2257312	2051199	1864952	1696088,4	5155351
	0,2	-2714200	2068582	1723404	1435342	1191980,1	3705108
	0,3	-2714200	1909651	1470108	1129897	869152,2	2664608
	0,4	-2714200	1773070	1266478	903918	645655,9	1874918
	0,5	-2714200	1656355	1102581	732571,1	491691,8	1268998
	0,6	-2714200	1552057	968483	605923,2	379943,6	792206
	0,7	-2714200	1460175	831902	504108,2	278128,7	360113
	0,8	-2714200	1380710	767337	424642,2	235912,7	94401
	0,9	-2714200	1306211	687871	362560,6	191213,4	-166345
	1,0	-2714200	1241646	620823	310411,5	153964,1	-387869

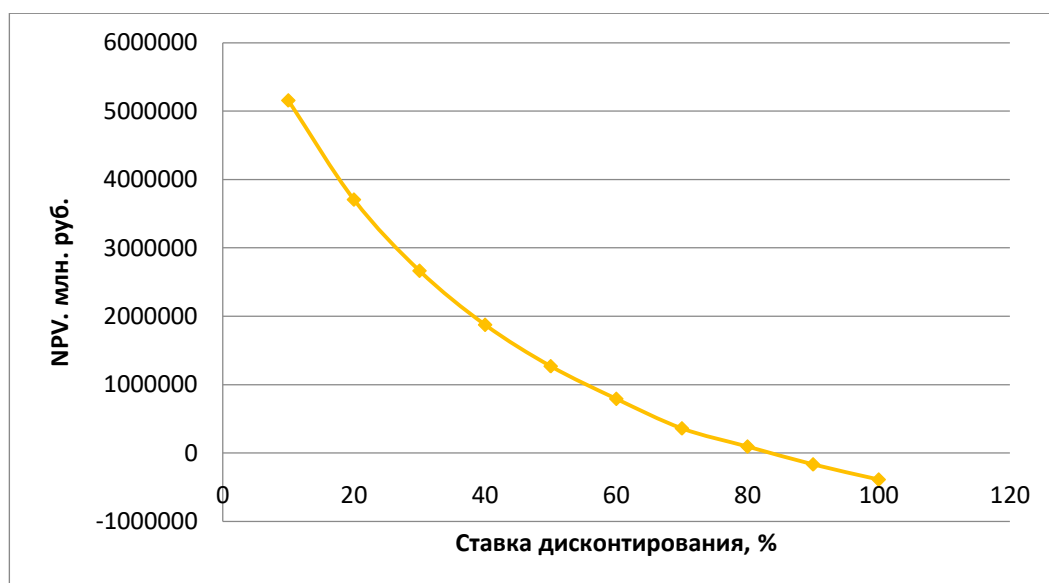


Рис. 4.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 81%.

Запас экономической прочности проекта: $81\% - 20\% = 61\%$

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.17).

Таблица 4.17

Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный денежный доход ($i=0,20$), млн. руб.	-2714200	2069410	1724508	1437091	1197575
2	То же нарастающим итогом, млн. руб.	-2714200	-644790	1079718	2516809	3714384
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 1 + (644790/1724508) = 1,37$ года				

Социальная эффективность научного проекта (таблица 4.18) учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 4.18

Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Нерациональное использование металлов	Уменьшение использования материалов
Не смешиваемость из-за разнородности по химическому составу	КМ превосходят по характеристикам любой из своих компонентов по отдельности.

4.7.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за

базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где: $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 4.19).

Таблица 4.19

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО	Весовой	Текущий	Аналог 1	Аналог 2
----	---------	---------	----------	----------

Критерии	коэффициент параметра	проект		
1. Выход продукта (системы мониторинга)	0,25	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,10	3	4	4
3. Надежность	0,20	4	4	4
4. Безопасность	0,10	5	4	5
5. Простота эксплуатации	0,15	4	5	4
6. Возможность автоматизации данных	0,20	5	4	3
Итого	1	24	24	25

$$I_m^p = 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,45$$

$$I_1^A = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 = 4,15$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 = 3,90$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где: \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.20.

Таблица 4.20

Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,19	0,18	0,17
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	4,15	3,90
3	Интегральный показатель эффективности	23,42	23,05	22,94
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02	1,01	1,00

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента рассчитан бюджет научного исследования, определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 1000184млн. руб.; индекс доходности $PI=1,37$; внутренняя ставка доходности $IRR=81\%$, срок окупаемости $PP_{дск}=1,37$ года, тем самым инвестиционный проект можно считать выгодным и экономически целесообразным.

4.8 Заключение по разделу

В ходе проделанной работы определены затраты на научно исследовательскую работу. Рационально спланирована занятость каждого из участников и сроки проведения отдельных работ для организации процесса реализации исследовательской работы.

С учетом всех рассмотренных вопросов по разделу, анализе различных факторов и расчетов денежных затрат исследовательского проекта, можно резюмировать, что данная научно исследовательская работа перспективна.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Токтасынов Ержан Еркасымулы

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР:

Получение изделий электроискровым спеканием под давлением из механически сплавленных порошков Ti-45 Nb	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования был порошок Ti-45Nb, полученный механическим легированием и образцы, полученные электроискровым спеканием под давлением.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<ul style="list-style-type: none"> – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ; – Положение об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН [Текст]. – Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с; – Требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78; – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ должны обеспечиваться в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – средства пожаротушения предусматриваются согласно требованиям противопожарной безопасности по СНИП 2.01.02. -85; – Использование электрических приборов осуществляются в соответствии с ГОСТ Р 52084-2003.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> 1. Превышение уровня шума 2. Вредные вещества 3. Отклонение показателей микроклимата 4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны 5. Опасность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	– Воздействие на атмосферу в связи с токсичностью порошков, взрывоопасностью и пожароопасностью некоторых материалов и

	газов; – Влияние на гидросферу посредством слива кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации..
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, короткое замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимым является осуществление меры по технике безопасности на рабочем месте.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	Д.т.н		20.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Токтасынов Ержан Еркасымулы		20.02.2020

5. Социальная ответственность

5.1 Введение

В этом разделе магистерской диссертации рассмотрены вопросы касающиеся безопасности жизнедеятельности исследовательской работы. При проведении исследовательских работ для магистерской диссертации было использовано следующее оборудование: установка электроискровое спекание под давлением «Labox 1575», микроскоп «AXIOVERT-200MAT», шлифовально-полировальный станок «Saphir 520», планетарная шаровая мельница «АГО-2С». В процессе подготовки исследуемых образцов выполнялась настройка оборудования, работа с ручным инструментом и работа с электронно вычислительной машиной (ЭВМ).

В работе исследовали особенности формирования компактного материала из механически сплавленного порошка Ti-40Nb в неравновесных условиях методом SPS.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.2.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

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

Каждый сотрудник знакомится с правилами оказания первой помощи при поражениях электрическим током, в помещении лаборатории находится аптечка со всеми необходимыми медикаментами. На стене вывешивается инструкция 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. При работе на получении порошка необходимо надеть маску, чтобы пыль не попала на дыхательные пути
3. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, станков и пресс установок к работе с ними не допускаются.
4. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 40м.
5. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.
6. Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких-либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей.
7. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения.

Нормальная продолжительность рабочего времени для работников предприятия не должна превышать 40 часов в неделю. Продолжительность работы накануне праздничных нерабочих дней сокращается на один час. Ночным считается время с 22 часов вечера до 6 часов утра. При работе в ночное время установленная продолжительность работы сокращается на один час.

5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Рабочее место располагается на 3 этаже 317 аудитории, помещение представляет собой комнату размером 5м на 5м, высотой 3м, 2 окон выходящих на запад, в помещении находится 2 единицы технологического оборудования, 2 людей.

Эргономическая оценка рабочих мест, в производственных условиях, проводится комплексно согласно методическим рекомендациям Минздрава:

«Основные принципы и методы эргономической оценки рабочих мест для выполнения работ сидя и стоя. Методические рекомендации". Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.007-76 [3].

5.3 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Для идентификации потенциальных факторов был использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

На рабочем месте находится шлифовальный станок и механоактиватор. Чтобы допустить к ним на работу, проводится инструктаж. А также работа с травителем келлер, травитель к 3 классу относится. Работа с этим веществом описаны в пункте вредные вещества.

Таблица 5.1

Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	Порошковая металлургия и машиностроение	1) СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно вычислительным машинам и организации работы» 2)ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия
2.Привышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности
3.Недостаток или	+	+		СНиП 23 – 05 –95. Нормы

отсутствие естественного света				проектирования. Естественное и искусственное освещение.
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+		СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05- 95*
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+		ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

5.3.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.3.1.1. Анализ показателей микроклимата

Микроклимат – это сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочих помещениях. Микроклимат влияет на процессы теплообмена и характер работ. Длительное воздействие неблагоприятных условий на человека ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям. Оптимальными для микроклимата жилых и общественных помещений в тёплое время года считаются: температура воздуха 22-25° С, относительная влажность 40-60 %, скорость движения воздуха не более 0,25 м/с; в холодное время года эти показатели составляют соответственно 20-22° С, 30-45 % и 0,1-0,15 м/с.

Таблица 5.2–

Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте (СанПиН

2.2.4.548-96

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Ниже оптим. величин не более	Выше оптим. величин не более
Холодный	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3

Теплый	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4
--------	-----------	-----------	-----------	-------	-----	-----

Температура в рабочей зоне поддерживается отоплением в холодный период и вентиляцией в теплый период.

5.3.1.2 Анализ показателей шума и вибрации

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вентиляторы системы охлаждения, планетарная шаровая мельница «АГО-2С» и шлифовально-полировальный станок «Saphir 520». Шум оказывает на организм человека негативное 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 негативное влияние на центральную нервную систему и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения. 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.

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 шумопроизводящего оборудования, рабочим выдаются средства индивидуальной защиты, в виде наушников или затычек.

5.3.1.3. Анализ освещенности рабочей зоны

Освещение исключительно важно для человека. С помощью зрения человек получает большую часть информации (около 90 %), поступающей из окружающего мира. Свет — это ключевой элемент нашей способности видеть, оценивать форму, цвет и перспективу окружающих нас предметов. Освещение влияет не только на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, но и на психику человека, его эмоциональное состояние. Исследователями накоплено значительное количество данных по биологическому действию видимого света на организм.

Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует через нервную оптико-вегетативную систему на эндокринную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Расчет искусственного освещения. Основными источниками света являются люминесцентные лампы. В помещении лаборатории используются люминесцентная лампа ШОД. ШОД - для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускается при умеренной влажности и запыленности.

Основные требования и значения нормируемой освещенностей рабочих поверхностей изложены в строительных нормах и правилах СП 52.13330.2011, выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном, характеристики фона. Для того чтобы установить в каждом конкретном случае все перечисленные предметы, необходимо знание особенностей зрительной задачи на данном рабочем месте.

При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СП

52.13330.2011 регламентируется максимальная искусственная освещенность рабочих мест.

Получение из СП 52.13330.2011 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 $KЗ = 1,5$.

Естественное освещение. Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение. Без естественного освещения допускается проектировать помещения, которые определены соответствующими главами СНиП на проектирование зданий и сооружений, нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке, а также помещения, размещение которых разрешено в подвальных этажах зданий и сооружений. Естественное освещение подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое).

Нормированные значения КЕО (коэффициента естественной освещенности) для зданий, располагаемых в различных районах, следует определять по формуле:

$$e_N = e_H m_N \quad (5.1)$$

где N - номер группы обеспеченности естественным светом; e_H - значение КЕО; m_N - коэффициент светового климата. Соответственно, при $e_H = 1$; $m_N = 0,75$;

При верхнем или комбинированном естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и

последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

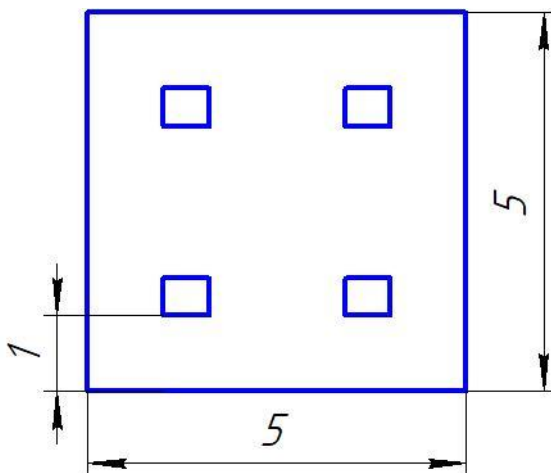


Рис. 5.1 Схема освещения

5.3.1.4. Анализ электробезопасности

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия электрического тока или электромагнитного поля на организм человека;
- условий внешней среды .

Электротравма опасна прежде всего воздействием тока на сердечно-сосудистую систему. Напряжение от 36 вольт и выше вполне способно вызвать остановку сердца или дыхания, однако убивает не напряжение, а сила тока. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. Категория персонала – I (не

электротехнический персонал), т.е 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.

Категория помещения: Помещение повышенной опасности поражения электрическим током. Отсутствуют признаки и факторы характерные для особо опасных и повышенной опасности поражения током.

5.3.1.5 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.

При выполнении работы для исследования образцов, в лаборатории используется раствор келлера. Травитель келлер является едким веществом, по степени воздействия на организм человека относится к веществам 3-го класса опасности [11]. Раствор келлера вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, пары поражают слизистые оболочки.

В качестве защиты от вредного вещества рабочим выдаются средства индивидуальной защиты: стерильные диагностические латексные перчатки, маску для лица (медицинская одноразовая трехслойная).

Первая помощь - при попадании раствора келлера 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 раствора келлера показано промывание желудка обильным количеством воды, инъекции морфина, атропина

5.3.2 Основные мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Также необходимым является рассмотрение требования безопасности, предъявляемые ко всем видам работ, установкам и устройствам, формирующим опасные факторы, в том числе и электротехническим установкам в соответствии с нормативно-технической документацией.

Предусматриваются мероприятия и средства защиты работающих от поражения электрическим током установок, разрабатываемых и используемых при выполнении исследовательской работы.

При работе с келлер в качестве защиты от вредного вещества рабочим выдаются средства индивидуальной защиты: стерильные диагностические латексные перчатки, маску для лица (медицинская одноразовая трехслойная).

В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, во время получения порошков из металла. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

5.4 Экологическая безопасность

Любое предприятие, осуществляющее деятельность, неизбежно наносить тот или иной вред окружающей среде. В настоящем проекте основными факторами воздействия на среду являются:

- токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов применяемых в производстве;
- пожароопасность некоторых материалов;
- пыль на рабочем месте.

В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, во время получения порошков из металла. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Также из-за наличия отходов материалов (металлическая стружка, абразивная пыль, черновики бумаги, отработанные картриджи принтера, обрезки электромонтажных проводов) 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.)

5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте.

Офисное помещение расположено в городе Томск с континентально-циклоническим климатом и природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия. Для Сибири в зимнее время года характерны морозы и метели. В результате порывов ветра могут быть обрывы линий электропитания, из-за чего возможны перебои в электроснабжении; перегрузки, которые могут стать причиной пожара. Для предотвращения подобных ситуаций необходима организация системы аварийного электропитания, по возможности проведение линии электроснабжения под землей. Низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В следующем пункте написан наиболее типичный ЧС.

5.6 Анализ пожарной безопасности

Пожар - одно из самых страшных бедствий. Он не щадит никого и ничего. Возгорание, как правило, происходит очень быстро, и потушить его не всегда удастся. Поэтому действия при пожаре прописаны в инструкции, которую каждый гражданин должен знать. На предприятиях специально проводятся мероприятия по защите населения от этой катастрофы.

Рабочее помещение по опасности относится к В2 - пожароопасное, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. При случаях пожара имеется универсальный огнетушитель ОП-5. Первые буквы ОП — это аббревиатура, означает, что перед вами огнетушитель порошковый. Через дефис по современной маркировке приведена масса заряда, выраженная в килограммах.

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, который должен висеть на видном месте.

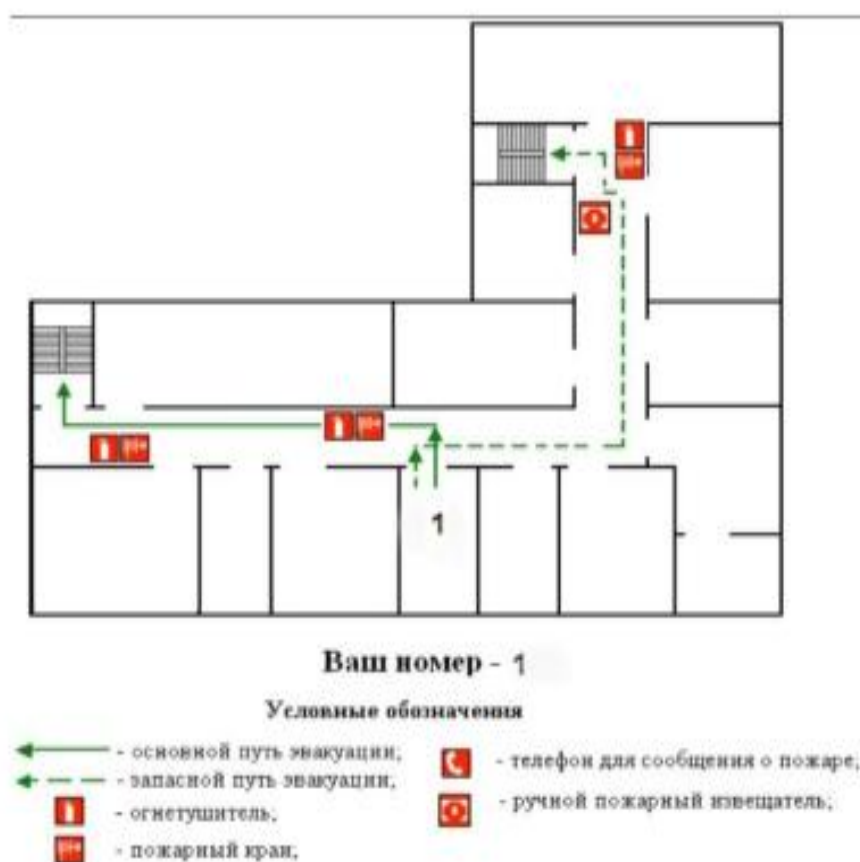


Рис. 5.2 – План эвакуации

5.7 Заключение по разделу

В данном разделе были рассмотрена социальная ответственность по исследовательскому проекту на тему: Получение материала электроискровым спеканием под давлением из механически сплавленных порошков Ti-45Nb.

При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, недостаточной освещенности, электрического тока, вредных веществ, физических и эмоциональных перегрузок, умственного перенапряжения. В лаборатории в процессе работы с порошковыми материалами присутствуют пыль. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

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 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.

Заключения

1. Исследованы морфология, гранулометрический и фазовый состав порошка Ti-45Nb двух фракций 80-200 мкм и более 200 мкм, которые были получены механическим легированием. Частицы имеют форму окатышей и состоят из одной фазы β -TiNb с ОЦК решеткой. Количество Nb в объеме частиц меняется от 38 до 49 мас. %, что свидетельствует о неравномерном растворении компонентов друг в друге. Гранулометрический состав порошка не влияет на его фазовый состав и строение.

2. В процессе электроискрового спекания под давлением из порошка Ti-45Nb формируется компактный материал с низкой пористостью в сотые доли процента. Образцы имеют зеренную микроструктуру с размером в несколько микрометров и следами экструзии. Основной структурной составляющей является β -TiNb. По границам зерен β -фазы располагаются включения α -фазы – твердого раствора Nb в Ti с ГЦК решеткой.

3. Размер компактируемых частиц в исследуемом интервале практически не влияет на строение, фазовый состав и механические свойства полученных образцов. Некоторое снижение значения микротвердости материала, полученного из частиц большей фракции, может быть связано с отличиями в протекании процессов компактирования, что приводит к формированию в этом случае более равновесной структуры.

4. В процессе отжига до температуры 400 °C и 600 °C в материале проходят процессы частичной перестройки микроструктуры: не наблюдается следов экструзии, незначительно увеличивается доля α -фазы. Это приводит к снижению прочностных характеристик при испытании на сжатие. При увеличении температуры отжига эффект разупрочнения выше. Это относится к образцам, полученным из обеих исследуемых фракций порошка.

Список публикаций

1. Токтасынов Е.Е., Мукашова Д.Д. Получение материала из механически легированного порошка Ti-Nb методом электроискрового спекания под давлением // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов XI Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 29–31.
2. Мукашова Д.Д., Токтасынов Е.Е., Криницын М.Г. Создание селективным лазерным сплавлением трехмерных образцов из интерметаллида // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов XI Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 55–57.

Список использованных источников

1. Iwasa Y., Case Studies in Superconducting Magnets, Springer, 2009, 376 p.
2. Ozaki T., Matsumoto H., Watanabe S., Hanada Sh. Beta Ti Alloys with Low Young's Modulus // Materials Transactions, Vol. 45, No. 8 (2004) pp. 2776 – 2779.
3. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. - М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. - 520 стр.
4. Кузьмич Ю.В., Колесникова И.Т., Серб В.И., Фрейдин Б.М. Механическое легирование – М: Наука, 2005. – 213 с.
5. Fernandes B. B., Ramos A. S., de Moura Neto C., Coelho G. C., Suzuki P. A. On Ti-18Si-6B and Ti-7.5Si-22.5B powder alloys prepared by high-energy ball milling and sintering // Journal of Material Research. – 2012 – Vol.15 (6). – P. 954–963.
6. Dutkiewicz J., Maziarz W., Jaworska L. Structure of nanocrystalline structure Ti-base alloys obtained by mechanical alloying and ultra-high pressure sintering // Reviews on Advanced Materials Science. – 2008 – Vol.18. – P. 264–268.
7. Ляхов Н.З., Панин В.Е., Дудина Д.В., Корчагин М.А., Ломовский О.И., Гриняев Ю.В., Дураков В.Г., Панин С.В., Почивалов Ю.И. Разработка конструкционных материалов на основе порошковых нанокомпозитов // Физическая мезомеханика. – 2003. – Т. 6. – № 2. – С. 63–76.
8. Saprykin A.A., Ibragimov E.A., Yakovlev V.I. Influence of Mechanical Activation of Powder on SLS Process // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2014. – Vol. 682. – P. 143–147.
9. Kovalevskaya, Z.G., Fedorov, V.V., Krinitsyn, M.G., (...), Khimich, M.A., Sharkeev, Y.P. Selection of Technological Parameters of Selective Laser Melting of Mechanocomposite Ti–Nb Powder 2019 Inorganic Materials: Applied Research 10(1), с. 19-23.

10. Spark Plasma Sintering of Materials: Advances in Processing and Applications под ред. P. Cavaliere, Springer, 2019, 780 p.
11. Suryanarayana C. Mechanical alloying and Milling, CRC Press, 2004, 488 p.
12. Григорьева Т. Ф., Баринова А. П., Ляхов Н. З. Механохимический синтез в металлических системах: монография – Новосибирск: Параллель, 2008. – 309 с.
13. Механокомпозиты-прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами / под ред. О. И. Ломовского, Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 423 с.
14. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии. – 2006. – Т. 75. – № 3. – С. 203–216.
15. Бутягин П. Ю. Проблемы и перспективы развития механохимии // Успехи химии – 1994. – Т. 63. – № 12. – С. 1031-1043.
16. Korchagin M. A., Dudina D. V. Application of Self-Propagating High-Temperature Synthesis and Mechanical Activation for Obtaining Nanocomposites // Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol. 43, No. 2, pp. 176–187, 2007.
17. Suryanarayana C. In: Powder metal technologies and applications. ASM Handbook, vol. 7. Materials Park, OH: ASM International, 1998. p. 80-90.
18. А.с. №975068 (СССР). Авакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И. Планетарная мельница. Бюллетень изобретений. – 1982. – №43.
19. Научные технологии в проектах РФФИ. Сибирь / под ред. С.Г. Псахье, Ю.П. Шаркеева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2017. – С. 292-338.
20. Chandrasekaran M., Xia Z. Su. Effect of alloying time and composition on the mechanical properties of Ti alloy // Materials Science and Engineering: A. – 2005. – Vol. 3 (1–2). – 2005. – P. 220–228.
21. Matuła I., Dercz G., Zubko M., Prusik K., Pajak L., Influence of High Energy Milling Time on the Ti–50Ta Biomedical Alloy Structure // Acta Physica Polonica. – 2016. – Vol. 130. – P. 1033–1036.

22. Giffoni Y.A., Ramos E.C.T., Sandim H.R.Z., Pacheco M.T.T., Silva G., Ramos A.S. Preparation of Ti-40Nb powders by high-energy milling // Materials Science Forum. – 2005. – Vol. 498-499. – P. 146–151.
23. Zhuravleva K., Bönisch M., Scudino S., Calin M., Schults L., Eckert J., Gebert A. Phase transformations in ball-milled Ti-40Nb and Ti-45Nb powders upon quenching from the β -phase region // Powder Technology. – 2014. – Vol. 253. – P. 166–171.
24. Moffat D.L., Kattner U. R. The Stable and Metastable Ti-Nb Phase Diagrams // Metallurgical Transactions A. – 1988. – Vol. 19A. – P. 2389–2397.
25. Zh.G. Kovalevskaya, Yu.P. Sharkeev, M.A. Khimich, M.A. Korchagin, V.A. Bataev Ti–Nb powder alloys in the additive technologies // Nanoscience and Technology: An International Journal 8(3):203–210 (2017).
26. Ю.П. Шаркеев, Ж.Г. Ковалевская, М.А. Химич, Е.А. Ибрагимов, А.А. Сапрыкин, В.И. Яковлев, В.А. Батаев Исследование строения и фазового состава порошков Ti и Nb после механической активации // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты) № 1 (70) 2016 с. 42-51.
27. V. Mamedov Spark plasma sintering as advanced PM sintering method // Powder Metallurgy 2002 Vol. 45 No. 4. p. 322-328.
28. Shevtsova L.I., Nagavkin S.Y., Korchagin M.A., Thömmes A., Mali V.I., Anisimov A.G. Spark plasma sintering of mechanically activated Ni and Al powders // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040. – P. 772–777.
29. N. Saheb, Z. Iqbal, A. Khalil, A. S. Hakeem, N. Al Aqeeli, T. Laoui, A. Al-Qutub, R. Kirchner Spark Plasma Sintering of Metals and Metal Matrix Nanocomposites: A Review // Journal of Nanomaterials Volume 2012, Article ID 983470, 13 p.
30. Болдин М.С. Физические основы технологии электроимпульсного плазменного спекания // Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 59 с.

31. T. Skiba, P. Hauřsild, M. Karlík, K. Vanmeensel, and J. Vleugels, "Mechanical properties of spark plasma sintered FeAl intermetallics," *Intermetallics*, vol. 18, no. 7, pp. 1410–1414, 2010.
32. K. Matsugi, N. Ishibashi, T. Hatayama, O. Yanagisawa, "Microstructure of spark sintered titanium-aluminide compacts," *Intermetallics*, vol. 4, no. 6, pp. 457–467, 1996.
33. H. Feng, Y. Zhou, D. Jia, and Q. Meng, "Rapid synthesis of Ti alloy with B addition by spark plasma sintering," *Materials Science and Engineering A*, vol. 390, no. 1-2, pp. 344–349, 2005.
34. S. Diouf and A. Molinari, "Densification mechanisms in spark plasma sintering: effect of particle size and pressure," *Powder Technology*, vol. 221, pp. 220–227, 2012.
35. S. Diouf, C. Menapace, A. Molinari, "Study of effect of particle size on densification of copper during spark plasma sintering," *Powder Metallurgy*. 55(3):228-234 2012.
36. X. Lu, X. B. He, B. Zhang, L. Zhang, X. H. Qu, Z. X. Guo, "Microstructure and mechanical properties of a spark plasma sintered Ti-45Al-8.5Nb-0.2W-0.2B-0.1Y alloy," *Intermetallics*, vol. 17, no. 10, pp. 840–846, 2009.
- A. Couret, G. Molénat, J. Galy, and M. Thomas, "Microstructures and mechanical properties of TiAl alloys consolidated by spark plasma sintering," *Intermetallics*, vol. 16, no. 9, pp. 1134–1141, 2008.
37. Dutkiewicz J., Maziarz W., Jaworska L. Structure of nanocrystalline structure Ti-base alloys obtained by mechanical alloying and ultra-high pressure sintering // *Reviews on Advanced Materials Science*. – 2008 – Vol.18. – P. 264–268.
38. Maziarz W., Lejkowska M., Mchalski A., Dutkiewicz J. Transmission electron microscopy of microstructure of Ti-Nb and Ti-Ta alloys after ball milling ad hot consolidation // *Journal of microscopy*. – 2006 – Vol. 224 – P. 42–45.
39. T. Murakami, A. Kitahara, Y. Koga, M. Kawahara, H. Inui, M. Yamaguchi, "Microstructure of Nb-Al powders consolidated by spark plasma sintering

- process,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 239-240, no. 1-2, pp. 672–679, 1997.
40. M. A. Korchagin, D. V. Dudina Application of Self-Propagating High-Temperature Synthesis and Mechanical Activation for Obtaining Nanocomposites // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, Vol. 43, No. 2, pp. 176–187, 2007
 41. Избранные методы исследования в металловедении / Отв. ред. Г.Й. Хунгер. – М.: Металлургия, 1985. – 176 С.
 42. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ – М.: МИСИС, 2002. – 360 С.
 43. Глазов В.М., Вигдорович В.Н. Микротвердость металлов. М.: ГНТИЛ, 1962. – 224 С.
 44. Zh. G. Kovalevskaya, Yu. P. Sharkeev, M. A. Khimich, I. A. Glukhov Thermal stability of Ti-45Nb mechanically alloyed powder // *Letters on Materials* 8 (4), 2018 pp. 443-447
 45. Damian K., Lukasz R., Tomasz C., Anna Wo., Aleksandra K.-B., Przemyslaw Z., Bogusz K., and Jan D. Microstructure and Mechanical Properties of Ti-Nb Alloys Prepared by Mechanical Alloying and Spark Plasma Sintering // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 29 (2020). pp. 1445-1452.
 46. Nicholas M., Taban L., Javier E., Rajeev K. G., Rodrigo C., Tushar B. Spark plasma sintering of low modulus titanium-niobium-tantalum-zirconium (TNTZ) alloy for biomedical applications // *Materials & Design* – 183 (2019) 108163.

Приложение А
(Раздел на иностранном языке)

Literature review

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Токтасынов Ержан Еркасымулы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ковалевская Жанна Геннадьевна	Доктор технических наук		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия петровна	Старший преподаватель		

1. Literature review

1.1. Mechanical alloying

The process of mechanical alloying (ML) begins with the mixing of the powders in the desired load of the powder mixture and the proportions in the mill along with the grinding medium (usually steel balls). This mixture is ground for a predetermined period of time until the composition of each powder particle is the same as the proportion of elements in the starting powder mixture. The ground powder is then consolidated into bulk and processed to obtain the desired microstructure and properties [11-14].

1.1.1. The mechanism of mechanical alloying

During high-energy grinding, the powder particles are repeatedly cold-welded, crushed, and mixed. (figure 1.1).

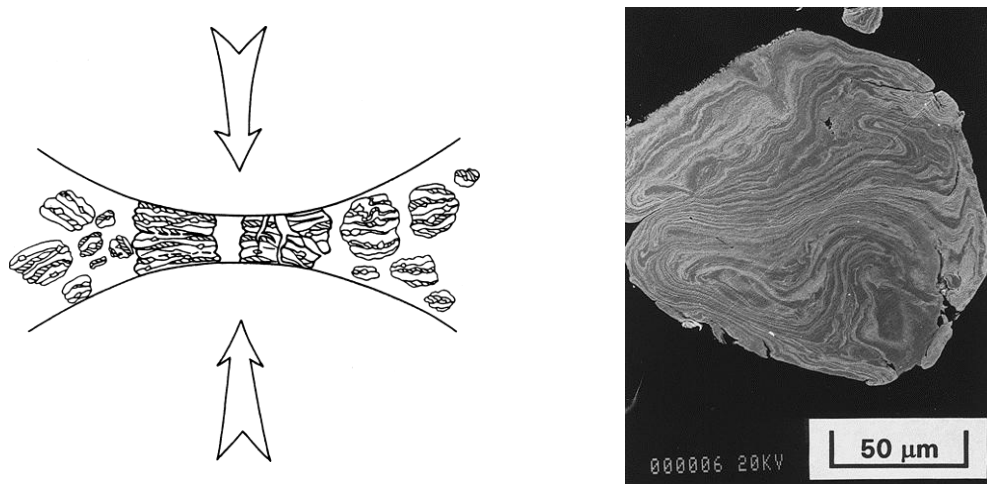


Fig. 1.1 Collision of a ball with a powder mixture during mechanical alloying (a) and microstructure inside an Ag-Cu particle (b) [11]

At first, the process of particle coagulation prevails, then the grinding process begins to prevail (Fig. 1.2).

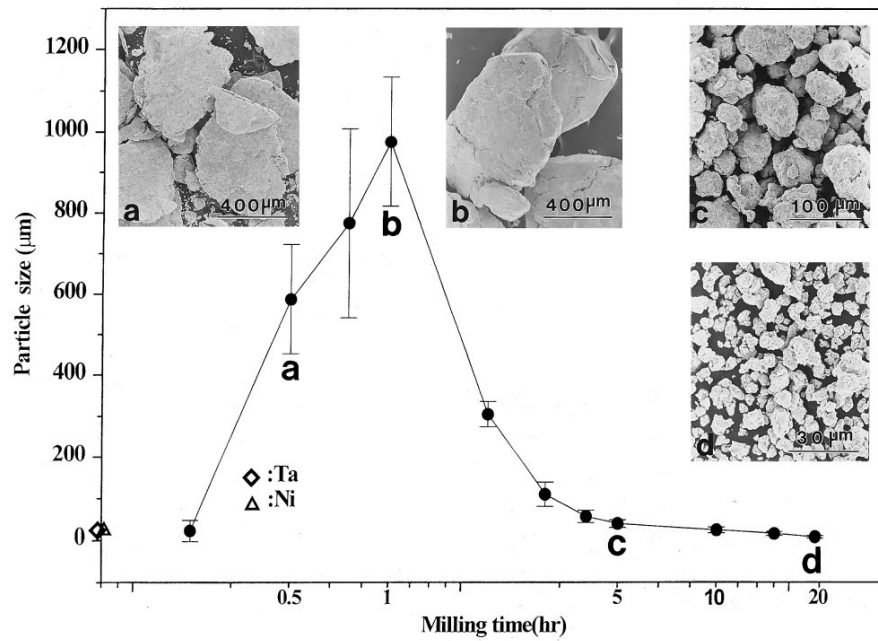


Fig. 1.2. Particle size distribution due to the tendency of small particles to weld and large particles to fracture [11]

The process of mechanical alloying is accompanied by intense plastic deformation (IPD). A slight increase in temperature during grinding promotes diffusion, and, consequently, the fusion of the constituent elements occurs. Although this fusion usually occurs at room temperature, sometimes it may be necessary to anneal the mechanically fused powder at an elevated temperature in order to achieve uniformity. This is especially true when an alloy is formed between metals. The ease with which nanostructured materials can be synthesized is one of the reasons why ML is widely used for the production of nanocrystalline materials [16].

The ideal combination of materials for MS, when at least 15% of the plastic component Benjamin [11]. This is necessary because fusion occurs due to the repeated action of cold welding and the destruction of powder particles; cold welding cannot occur if the particles are not plastic. Benjamin first described the fusion mechanism in a system involving two different plastic components in accordance with the process diagram shown in Figure 1.3.

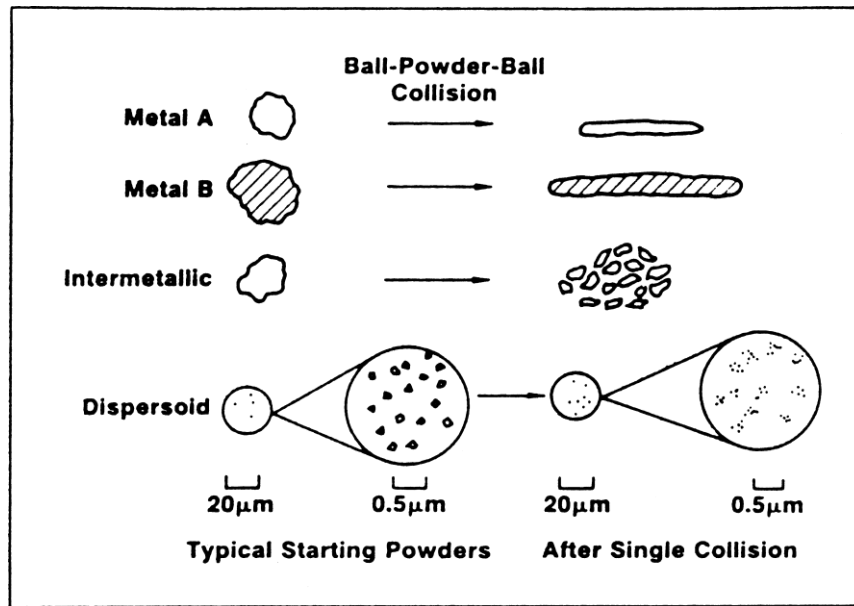


Fig. 1.3 Scheme of mixing components during mechanical alloying [11]

An indication of the completion of the ML process and the achievement of a uniform structure in the powder is the ease with which the powder could be removed from the grinding medium [11].

1.1.2. Equipment and parameters of mechanical alloying

For the production of mechanically fused powders, different types of high-energy mills are used. They differ in their productivity, grinding efficiency and additional devices for cooling, heating, etc. A detailed description of the various mills available for MS can be found in [17].

Let us dwell on planetary ball mills, one of which was used in the work. Such mills are produced in the Russian Federation (AGO-2) [16] and abroad by Fritsch GmbH in Germany (Pulverisette) [11]. In such planetary ball mills, several hundred grams of finished powder can be obtained.

The planetary ball mill owes its name to the planet-like movement of its glasses. They are located on a rotating support disk, and a special drive mechanism makes them rotate around their own axes (Fig. 1.4).

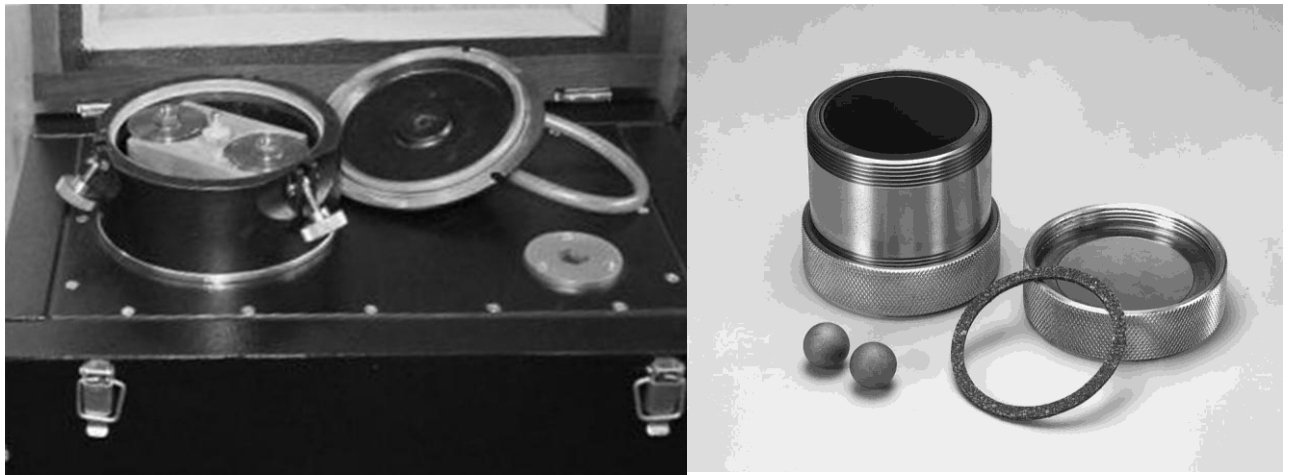


Fig. 1.4 Appearance of the planetary ball mill in the open state (a) and the glass in the disassembled state (b)

The centrifugal force produced by the cups, rotating around their own axes and produced by the rotating support disk, acts on the contents of the cup, consisting of the material to be crushed, and grinding balls. Since the cups and the supporting disc rotate in opposite directions, centrifugal forces alternately act in opposite directions. This leads to grinding balls running down the inner wall of the beaker with the effect of friction, and then the crushed material and grinding balls rise and fall freely with impact effects (Fig. 1.5).

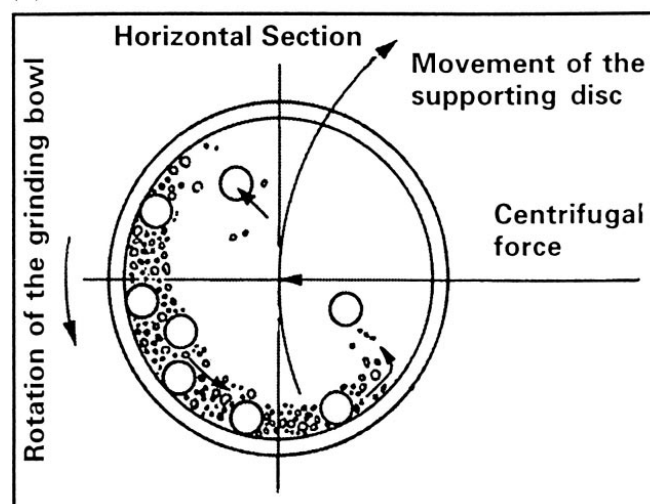


Fig. 1.5. A diagram depicting the movement of balls inside a ball mill [11]

Despite the fact that the disk and the rotation speed of the glasses could not be independently controlled in earlier versions, this is possible in modern versions. In one mill, you can have either two or four glasses [11].

Mechanical fusion is a complex process and requires optimization of important parameters that affect the structure of the powder: type of mill, grinding container, grinding speed, grinding time, type, size and size distribution of the grinding medium, weight ratio of ball to powder, degree of filling of the bottle, grinding atmosphere, process control agent, and grinding temperature. All of these process variables are not completely independent. Let us consider some of them [11].

The duration of the process becomes the main difficulty in obtaining the alloy during machining in a ball mill. In this case, as indicated in all literature, the duration of the process is tens of hours [11]. Therefore, often the manufacturer is limited to obtaining a mechanocomposite with its further compaction and heat treatment, which ensures a homogeneous alloy [4]. An exception is mechanical alloying in the AGO-2 planetary ball mill [18], where the formation time of a mechanical alloy can be limited to tens of minutes (Fig. 1.6) [19].

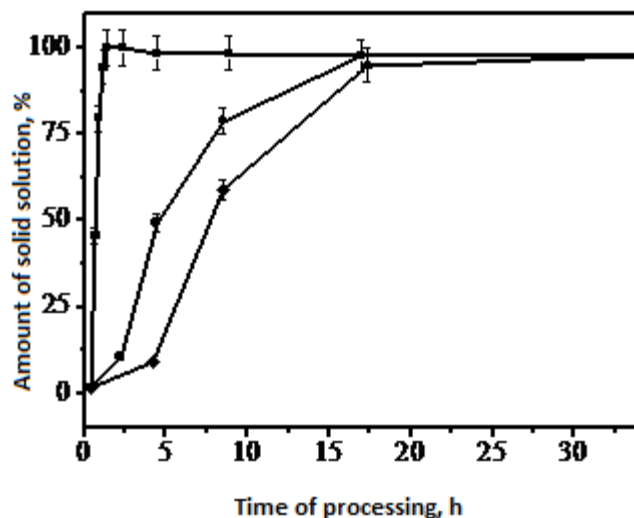


Fig. 1.6 Formation of a solid solution of tin in iron during mechanical alloying in various mills: 1 - AGO-2; 2 - Pulverizette-5; 3 - Pulverizette-7 [19]

1.1.3. Mechanical fusion in a titanium-niobium system

Mechanical alloying often produces titanium-based alloys, especially titanium β -alloys used in biomedicine [11, 19-21]. Their physical and mechanical characteristics, primarily low elastic modulus and bioinert properties, determine the use of β -alloys in the production of medical implants [2].

The Ti – Nb alloy system is promising for mechanical alloying [19, 22–23]. The system has complete solubility of the components in each other in the range of concentrations from 52 to 100 wt. % Nb [24]. In this case, a common solid solution of Ti and Nb is formed in the alloy with a bcc lattice, β -TiNb (Fig. 1.7).

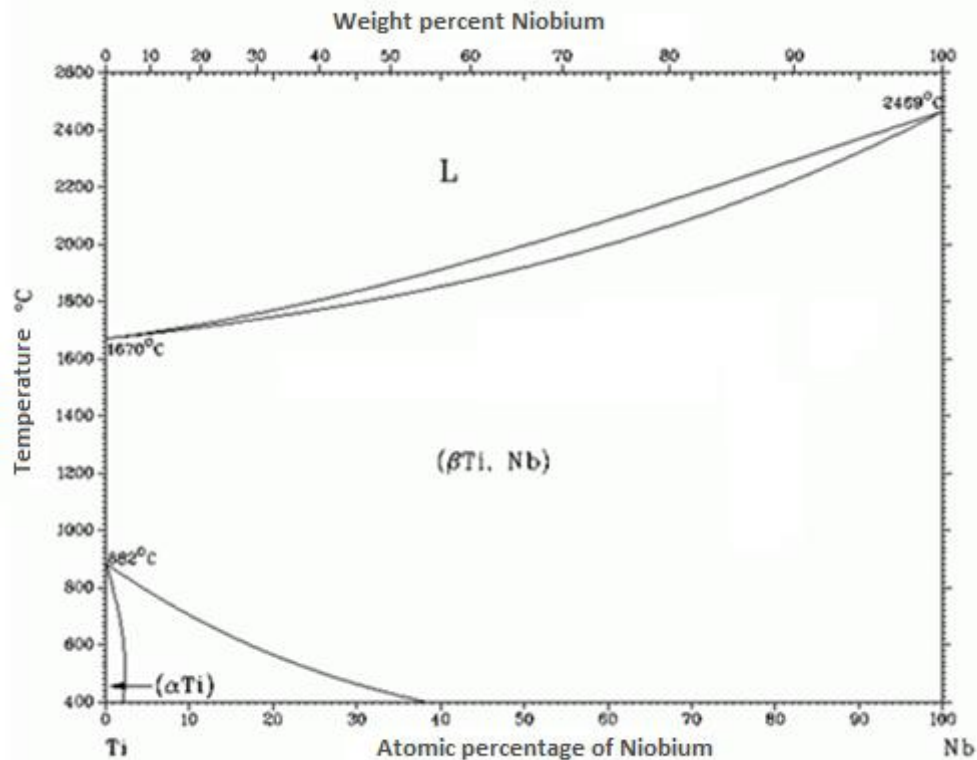


Fig. 1.7 Phase equilibrium diagram of Ti-Nb [24]

When the alloy is formed under nonequilibrium conditions, the mutual solubility of the components increases, which makes it possible to obtain a single-phase β -alloy with an Nb content reduced to 36 wt. %. The methods of obtaining solid solutions with a solubility of components significantly higher than

equilibrium, just refers to mechanical fusion. This provides the promise of using this method to obtain a single-phase β -alloy [19].

In the works of Y.A. Giffoni and K. Zhuravleva et al. Presents the results of an analysis of the structure of Ti-Nb mechanical alloys with an Nb concentration of 10 to 60 wt. % [22-23]. In all works, it is noted that during the machining process, the structure of the material is crushed to crystallites with a size of several tens of nanometers. However, the β -alloy formation time is up to 40 hours. A prerequisite for mechanical alloying is the presence of an ACP, the role of which in [23] was played by salt. In the absence of ACP, mixing of the plastic components of the Ti and Nb alloy leads to clumping - the formation of large agglomerates with sizes up to several hundred microns and / or the sticking of particles to the walls of the glass and grinding bodies, which leads to a decrease in the yield of the finished powder to 5-10 wt. %. In the works of Yu.P. Sharkeeva and M.A. Korchagin et al described MS alloys Ti and 40-45 wt. % Nb which was carried out in a ball planetary mill AGO-2 [19, 25-26]. It was shown that in the interval of the activation time from 3 to 20 minutes, the process of particle agglomeration to an average value of 66 μm prevails. The shape of the particles changes from flakes to pellets. At an activation time of 25 minutes, the agglomeration and destruction of the resulting particles are balanced, which leads to a decrease in their average size by half. With increasing activation time, the fraction of the total solid solution of the Ti and Nb components increases in the alloy. At an activation time of 20 min, a single-phase β alloy is identified by X-ray diffraction [19].

Based on the work, the experience of the studies shows that mechanical activation in a ball mill from pure Ti and Nb components can produce a single-phase β -alloy.

1.2 Electrosparing sintering under pressure

The technology of electric spark sintering under pressure (SPS) is used to form compact materials from powders based on Ti [27]. The method provides low sintering temperature, holding time and pressure compared to other traditional

sintering processes, such as hot pressing, pressureless sintering and hot isostatic pressing, which require a longer sintering time. Due to the high heating rates, high relative densities can be achieved in a very short time. It is known that during sintering processes in spark plasma, a short consolidation time is useful for suppressing grain growth and controlling the microstructure, thereby preserving close to the original grain size and achieving improved mechanical properties [28]. In SPS, the powder and matrix are heated directly by direct current, which distinguishes it from conventional sintering methods. In addition, the applied pressure can deform particles, making it possible to form stronger bonds between neighboring particles, and the electric field can contribute to the diffusion of atoms. For the following reasons, particles can join together to form a high-quality compact at a relatively low temperature in a short time [29].

1.2.1. Pressure spark sintering mechanisms

The SPS method refers to a number of highly efficient methods for sintering powders, which have a common principle – the use of direct electric current to heat the alloy or composite powder during the hot pressing process.

In normal free sintering of a single-phase system at a constant temperature, at least six mechanisms can be identified that contribute to the powder sintering process (figure 1.8) .

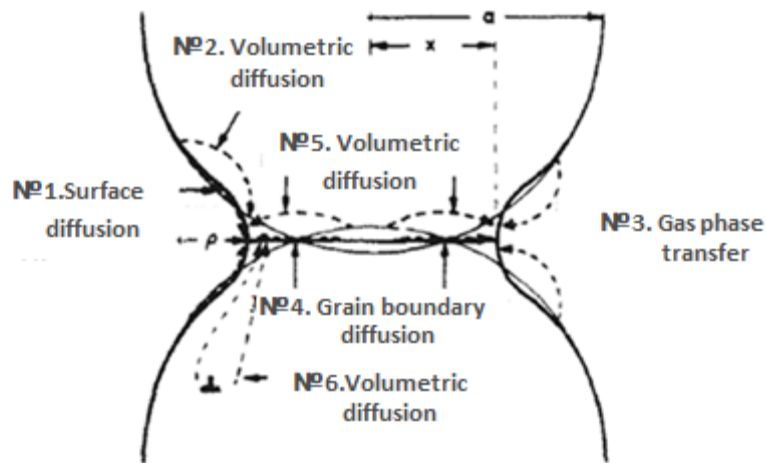


Fig. 1.8 - Schematic representation of sintering mechanisms [30]

The driving force for all sintering mechanisms is the desire to reduce the surface area, and, accordingly, the free energy of the surface of the system.

A feature of the SPS mechanism is local heating of the material only in the gap between particles due to the transmission of direct current in the on-off mode. Short-term current transmission through the sample leads to the appearance of electric discharges at the points of contact between the particles, as a result of which local high-temperature regions arise in which diffusion processes are accelerated. When the process is repeated, high-temperature regions of the electric discharge move along the sample, thereby ensuring uniformity of sintering over the entire volume (Fig. 1.9). Sintering in a mold under pressure provides a higher density and mechanical properties of the sintered material compared to free sintering.

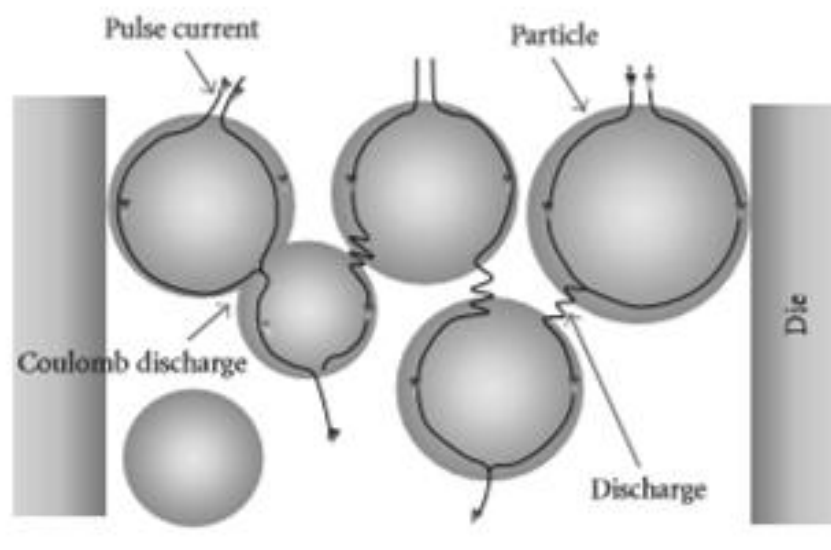


Fig. 1.9 The flow of a direct current pulse through particles [29]

When a current is passed through a compacted sample at the contacts between the powder particles, oxide films are destroyed, which contributes to a more efficient sintering of the powder particles. Intensification of sintering due to the action of pulsed current reduces the duration of sintering to several minutes. The possibility of realizing high heating rates reduces the total residence time of the material at elevated temperatures.

1.2.2. Equipment and parameters of electric spark sintering under pressure

The idea behind the SPS method was developed in Russia in the 50s, but its implementation as a system of laboratory installations was first implemented in Japan [30]. In the late 1990s, the Japanese company Sumitomo Heavy Industries, Ltd. began manufacturing industrial and laboratory equipment for implementing the Spark Plasma Sintering (SPS) powder sintering technology (figure 1.10).



Fig. 1.10 Appearance of the Spark Plasma Sintering SPS SYNTEX INC. Ltd.

[thirty]

Figure 1.11 shows an outline of the SPS process. The sintering machine is equipped with a uniaxial press, breakdown electrodes, a controlled atmosphere vacuum chamber, a direct current pulse generator and position, temperature and pressure measuring units [29].

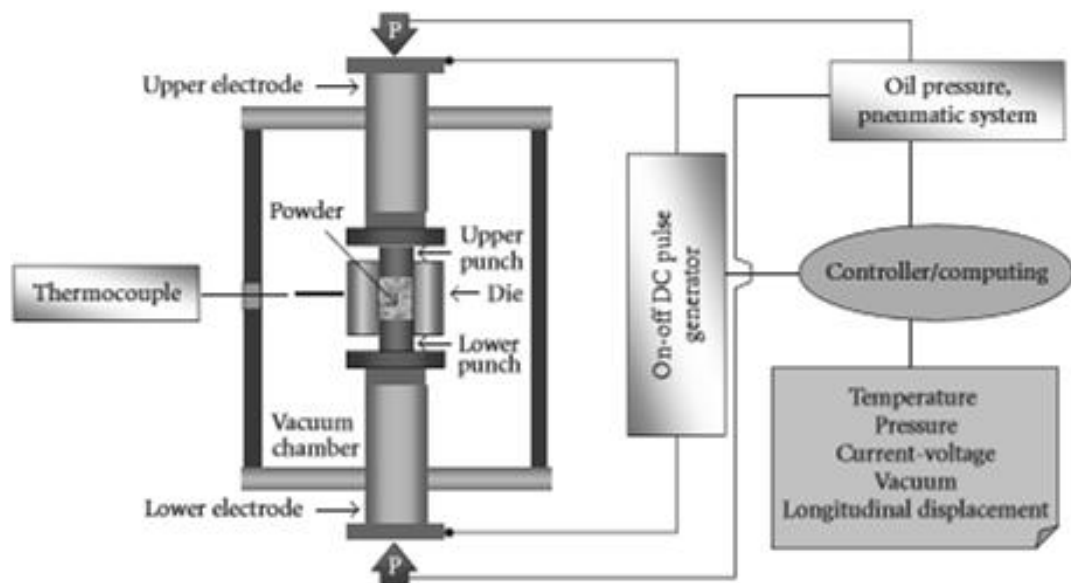


Fig. 1.11 SPS process diagram

Sintering temperature control is possible by setting the exposure time, speed,

pulse, current pulse and voltage. A DC pulsed discharge can generate a spark plasma, shock pressure, Joule heating, and the effect of electric field scattering. In SPS, pulsed DC voltage contributes to sintering. The use of pressure contributes to the plastic flow of the material.

Typically, SPS is carried out in four main steps, as shown in Figure 1.12.

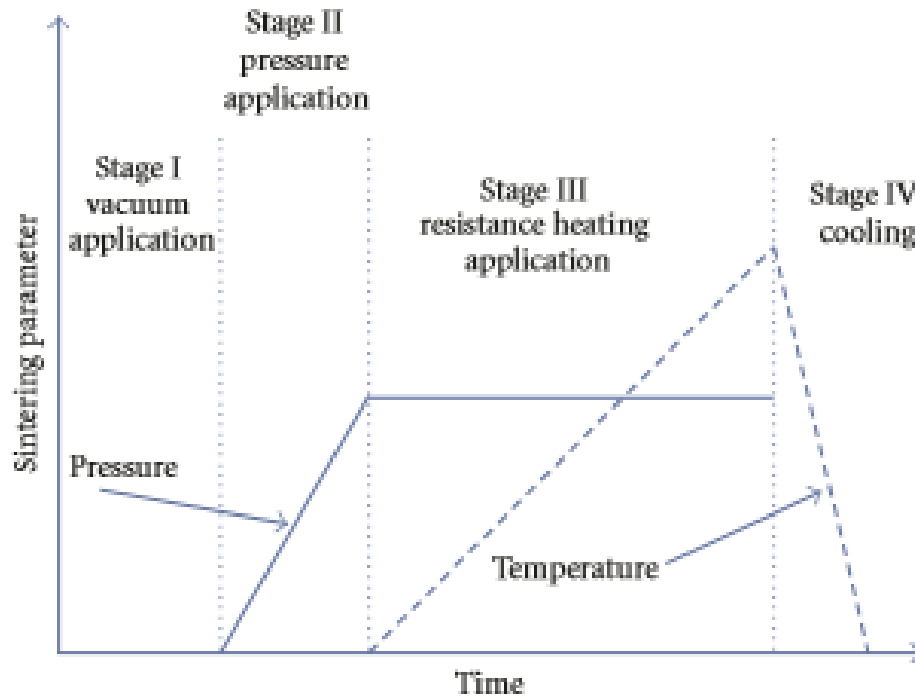


Fig. 1.12 Stages of plasma sintering

The first step is to remove gases and create a vacuum. Then, in the second stage, pressure is applied, followed by heating in the third stage and final cooling in the fourth stage. When a spark discharge appears in the gap or at the point of contact between the particles of material, a local high-temperature state from several to ten thousand degrees Celsius instantly arises. This causes evaporation and melting on the surface of the powder particles during the SPS, and necklines form around the contact zone. The use of pressure and current, in addition to the high localized temperatures generated by impulse heating of the resistance, improves heating rates and reduces sintering time and temperature, leading to the

consolidation of nanopowders without excessive grain growth. On the other hand, SPS is not only a process without a binder, but also does not require a preliminary preparation stage. The powder is directly filled in a graphite matrix through which current is passed and pressure is applied. The use of high currents (up to 5000A), and short pulses (pulse duration 3.3 ms) allows heating graphite molds with high speeds and reach the set temperatures in a short time. This results in a completely dense material with excellent mechanical properties [29, 30].

The influence of temperature sintering

The sintering process of powder materials is significantly affected by the selected temperature cyclogram. The main tools for changing the sintering mode are the heating rate and the exposure time [30].

T. Skiba et al. Studied the effect of changes in the sintering and heating temperatures during SPS of FeAl intermetallic compounds. They concluded that the best conditions were a sintering temperature of 1100 ° C and a heating rate of up to 400 ° C / min [31].

K. Matsugi and his colleagues studied the microstructural properties of titanium aluminide (Ti-53mol% Al) after SPS at four temperatures - 1300, 1350, 1375 and 1400 ° C and found that the microstructure changed depending on the sintering temperature. The Vickers microhardness values for each phase in sintered samples were almost the same as in samples manufactured by other manufacturing methods [32].

H. Feng et al. Investigated the effect of sintering temperature on the compaction of composites synthesized by mechanical alloying of Ti, Fe65Mo, B, and SPS powders. They obtained a dense composite after sintering at 1000 ° C for 5 minutes [33].

S. Diouf and A. Molinari investigated the compaction mechanisms at SPS using industrial copper powder with three particle sizes (<25, 25–45 and 45–90 µm). They found that at a low initial pressure, compaction occurs when particles are redistributed, localized deformation, volumetric deformation, and sintering neck growth. With increasing pressure, the sintering temperature does not

significantly affect the density of the sintered material, but the ductility during tension increases with increasing pressure during or after thickening [34].

In another study, S. Diouf and his colleagues investigated the effect of particle size on the compaction mechanism in the temperature range 600–700 ° C and the pressure range 20–30 MPa. They found that deformation and sintering of the sintering neck were enhanced by an increase in particle size. In addition, they reported that an extremely high and localized temperature at the contact points between particles leads to melting [35].

1.3.3. Using SPS to create compact medical supplies

Materials obtained using SPS technology can be divided into two classes: functional (having unique physical properties) and structural (having increased strength properties and used in machine structures) [30].

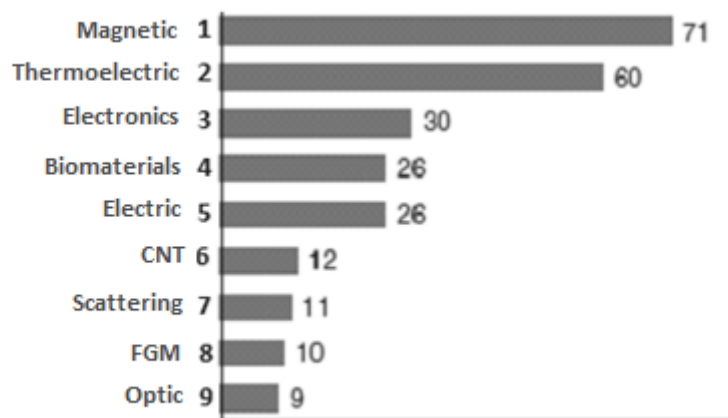


Fig. 1.13 Number of papers devoted to SPS functional materials [30].

As shown in Figure 1.13, among functional materials, materials used in medicine take the second place after materials used in electronics. Since SPS of the powder material is carried out in a conductive graphite mold, this technology has no restrictions on the types of sintered powder materials. Using this method, it is possible to obtain compact materials from medical pure metals, alloys,

intermetallic compounds, ceramics, and composites based on them [30].

The use of SPS for powders obtained by mechanical alloying is well known [5, 6, 13]. There are also experiments using SPS technology for compacting Ti-based powders [36–38], including niobium-doped [39] and Nb-based powders [39].

A. Couret used SPS to densify pre-alloyed powders of Ti₄₉Al₄₇Cr₂Nb₂ and Ti₅₁Al₄₄Cr₂Nb₂B₁ at temperatures ranging from 1100 to 1250 ° C [37]. Full compaction was achieved in a short period of time, which did not exceed 30 minutes and high mechanical tensile properties at room temperature and limited creep resistance at 700 ° C.

In [40], SPS compaction of Nb-Al, Nb-Al-W, Nb-Al-Mo, and Nb-Al-N powders obtained by mechanical alloying was performed. The authors obtained completely dense Nb-Al compacts at a sintering temperature above 1773K. However, the microstructure of the compacts Nb-Al-W and Nb-Al-Mo was not uniform; this was probably due to insufficient sintering time.

Thus, based on the analysis of existing scientific works, it can be concluded that the compacting of mechanically fused Ti₄₅Nb powder by SPS is an advanced technology and requires the implementation and study of the properties of the obtained material.