

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 – Аддитивные технологии
Отделение школы (НОЦ) – Материаловедение и технология материалов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование строения 3Д объектов из интерметаллидных соединений полученных селективным лазерным сплавлением

УДК 669..017.16:004.925.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ83	Мукашова Динара Доолотбековна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИФПМ	Ковалевская Ж.Г.	д.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения ЭФ				

Томск – 2020 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), критерий 5 АИОР
P2	Проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-11), критерий 5 АИОР
P3	Умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-4), критерий 5 АИОР
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.	Требования ФГОС (ОК-3), критерий 5 АИОР
P5	Следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5), критерий 5 АИОР
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	Проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-1), критерий 5 АИОР
P7	Принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах в области физики низких температур, конденсированного состояния и материаловедения, а также в модернизации современных и создании новых методов изучения механических, электрических, магнитных и тепловых свойств твердых, жидких и газообразных веществ.	Требования ФГОС (ПК-2), критерий 5 АИОР
P8	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4), критерий 5 АИОР
P9	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий подход для разработки новых оригинальных идей и	Требования ФГОС (ПК-3), критерий 5 АИОР

	методов исследования в области физики конденсированного состояния, низких температур и сжижения природного газа.	
P10	Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9), критерий 5 АИОР
P11	Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-10), критерий 5 АИОР

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки – Аддитивные технологии
Отделение школы – Материаловедение и технологии материалов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. Кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ83	Мукашова Динара Доолотбековна

Тема работы:

Исследование строения 3Д объектов из интерметаллидных соединений полученных селективным лазерным сплавлением
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования являлись механоактивированный и синтезированный тепловым взрывом порошок интерметаллида Ni_3Al , а так же образцы, полученные селективным лазерным сплавлением.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области аддитивных технологий: получения порошков и изделий из интерметаллида Ni_3Al селективным лазерным сплавлением; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта исследования; анализ результатов выполненной работы; заключение.
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint);
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и Ресурсосбережение	Спицына Л.Ю.

Социальная ответственность	Романцов И.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основная часть: литературный обзор, результаты исследования, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность – русский язык	
На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:	
Экспериментальная часть: Материалы и методы, Результаты эксперимента	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ83	Мукашова Д.Д.		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 131 с., 32 рисунка, 27 таблиц, 50 источника, 1 приложения.

Ключевые слова: Ni_3Al , механическая активация, тепловой взрыв, селективное лазерное сплавление, микроструктура, микротвердость.

Объектом исследования являлись механоактивированный и синтезированный тепловым взрывом порошок интерметаллида Ni_3Al , образцы, полученные селективным лазерным сплавлением.

Целью данной работы было исследование процесса формирования прототипов из механоактивированного и синтезированного порошка интерметаллида Ni_3Al методом селективного лазерного сплавления, а также оценка строения и свойств получаемого материала.

В результате исследований описано строение полученных порошков, их аттестация с целью использования для селективного лазерного сплавления, выбор режимов селективного лазерного сплавления образцов, исследование их структуры и оценка микротвердости.

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: аддитивные технологии.

Экономическая эффективность/значимость работы – Это позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

Оглавление

Реферат	6
Введение	10
1. Литературный обзор	12
1.1. Аддитивные технологии формирования изделий из металлов	12
1.1.1. Классификация аддитивных технологий	12
1.1.2. Селективное лазерное сплавление – перспективный метод аддитивных технологий	15
1.2. Методы получения порошков для аддитивных технологий	20
1.2.1. Традиционные методы получения порошков	20
1.2.2. Получение порошков механической активацией	23
1.3. Использование для СЛС порошков интерметаллидов, полученных механической активацией и тепловым взрывом	25
1.3.1. Интерметалид Ni_3Al	25
1.3.2. Механическая активация компонентов	24
1.3.3. Получение интерметаллида тепловым взрывом	28
2. Материалы и методы	30
2.1. Получение порошка для СЛС	30
2.2. Получение образцов Ni_3Al методом СЛС	32
2.3. Методы анализа структуры и свойства образцов	34
3. Результаты эксперимента	37
3.1. Исследование строения порошков	37
3.2. Выбор режимов СЛС	42
3.3. Исследование структуры образцов полученных СЛС	45
3.4. Оценка механических свойств	49
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
4.1. Введение	53
4.2. Потенциальные потребители результатов исследования	54

4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	55
4.4. SWOT-анализ	58
4.5. Цели и результат проекта	61
4.5.1. Организация и планирование работ	61
4.5.2. Продолжительность этапов работ	62
4.5.3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	67
4.5.4. Расчет затрат на материалы	67
4.5.5. Расчет амортизационных расходов	68
4.5.6. Расчет затрат на электроэнергию	69
4.5.7. Расчет заработной платы	71
4.6. Отчисления на социальные нужды	72
4.6.1. Накладные расходы	72
4.6.2. Расчет общей себестоимости затрат разработки	74
4.7. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	74
4.7.1. Оценка абсолютной эффективности исследования	74
4.7.1. Оценка сравнительной эффективности исследования	79
5. Социальная ответственность	86
5.1. Введение	86
5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	85
5.2.1. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	86
5.3. Производственная безопасность	87
5.3.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	88
5.3.2. Анализ показателей микроклимата	88
5.3.3. Анализ показателей шума	91
5.3.4. Анализ освещенности рабочей зоны.....	92

5.3.5. Психофизические вредные факторы	93
5.3.6. Анализ электробезопасности	94
5.4. Экологическая безопасность	97
5.4.1. Экологическая безопасность на рабочей зоне	99
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	100
5.6. Организационные мероприятия обеспечения безопасности	102
Основные результаты и выводы по исследовательской работе	104
Список используемой литературы	105
Список публикаций	110
Приложение А (раздел на иностранном языке)	111

Введение

Получение деталей из металлов и сплавов с помощью 3D-печати или аддитивных технологий в последние годы находит все больше сфер применения. Все разнообразие аддитивного производства, которое включает полимеры, керамику и металлические материалы, во всем мире было оценено в 2017 году в 10 миллиардов долларов [1-2]. Это число быстро увеличивается в секторах производства, связанных с автомобилестроением, авиакосмической промышленностью и другими отраслями [3-4].

В настоящее время опубликовано много научных обзоров, посвященных изготовлению деталей и компонентов из металла и сплавов аддитивными методами. В них рассматриваются аспекты выбора материала, вопросы оптимизации параметров процесса и структуры получаемого изделия, свойств в исходном состоянии и после обработки [2-4]. Однако полная реализация потенциала аддитивных технологий требует продолжения исследований и глубокого понимания связи «параметры процесса – структура – свойства» для более широкого круга современных материалов. К ним относятся стали, алюминиевые сплавы и суперсплавы, в том числе на основе интерметаллидов [5].

К наиболее перспективным жаропрочным интерметаллидным сплавам относят интерметаллидные сплавы на основе алюминидов никеля и титана. В числе применения преимущества интерметаллидных сплавов указывается достижение эксплуатационных характеристик на уровне традиционных жаропрочных никелевых сплавов или выше при меньшем содержании дорогих легирующих элементов и более низкой плотности [6-8].

Отличие данных сплавов в возможности достижения более высоких характеристик сплава, обусловленных особыми свойствами интерметаллидных соединений (повышенная температура плавления, высокая химическая стойкость, низкая плотность), приобретаемыми за счет формирования ковалентной или ионной связи между атомами. Вместе с тем

высокая хрупкость интерметаллидных соединений, также обусловленная типом связи, зачастую не позволяет применять данные сплавы без оптимизации и проведения необходимого комплекса исследований [6].

Разработка порошков для аддитивных технологий на данный момент очень актуальна. В связи с этим большой интерес представляет технология получения порошков интерметаллидов методом механической активации компонентов сплава в шаровых мельницах с последующим высокотемпературным синтезом, позволяющим получать материал требуемого состава [9].

Целью данной работы было исследование процесса формирования прототипов из механоактивированного и синтезированного порошка интерметаллида Ni_3Al методом селективного лазерного сплавления (СЛС), а также оценка строения и свойств получаемого материала.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать гранулометрический состав и морфологию порошка интерметаллида Ni_3Al , полученного механоактивацией и самораспространяющимся синтезом, убедиться в его пригодности для селективного лазерного сплавления.
2. Выбрать режимы селективного лазерного сплавления, обеспечивающие формирование компактного материала.
3. Исследовать строение и механические свойства полученных образцов.

1. Литературный обзор

1.1. Аддитивные технологии формирования изделий из металлов

1.1.1. Классификация аддитивных технологий

Аддитивная технология (АТ) – термин, объединяющий все способы изготовления изделий аддитивным методом формообразования [11–14].

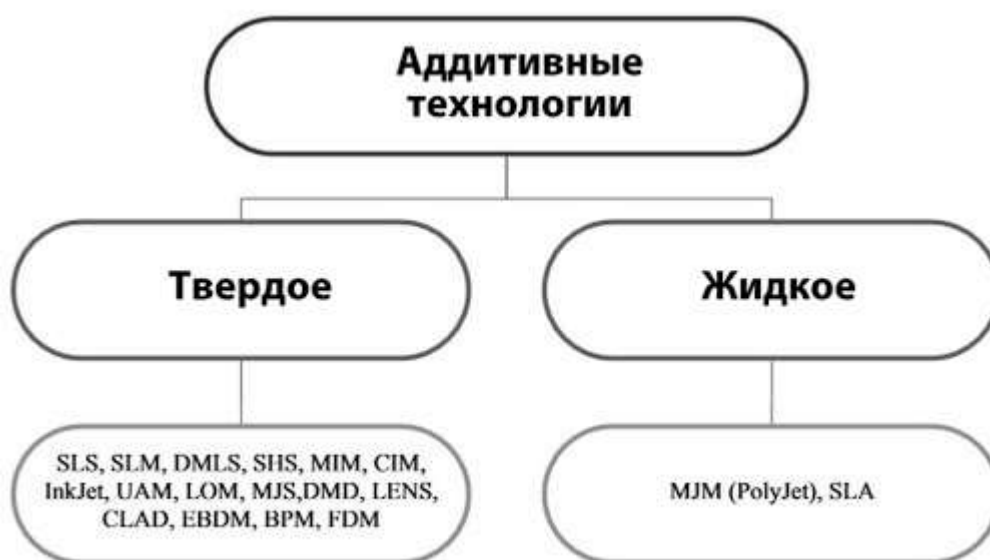


Рис.1 Аддитивные технологии [10]

В 90-х гг. XX веке в Европе и США были изобретены технологии послойного лазерного сплавления порошков, открывшие новые горизонты в порошковой металлургии. Технологию послойного лазерного спекания называют «технологией 5-го промышленного уровня» [15].

Получение изделия АТ происходит послойно, путем формирования слоя материала, отверждения или фиксации этого слоя в соответствии с конфигурацией сечения CAD-модели (рис.2.). 3D – печать является противоположностью таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала [16].

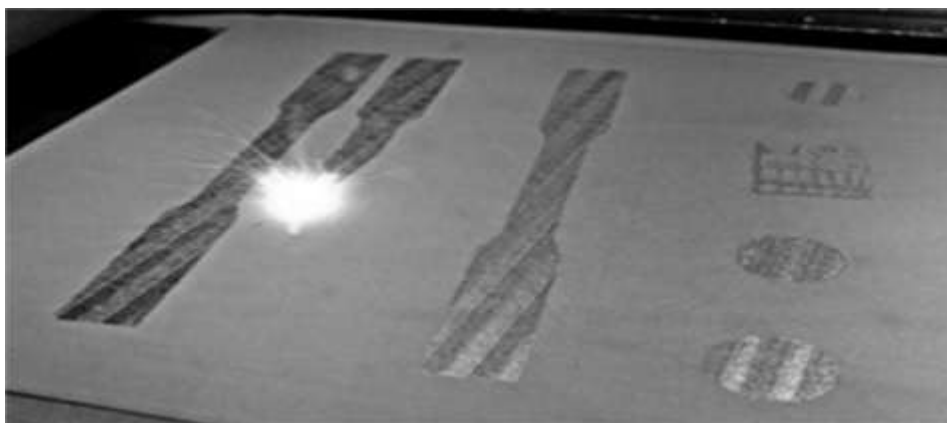


Рис. 2 Процесс послойного лазерного сплавления [17].

Среди основных преимуществ данной технологии выделяют то, что «послойное сплавление позволяет в автоматизированном режиме фактически строить трехмерные изделия по компьютерной модели; сокращается время и затраты на получение изделия, т.к. исключаются промежуточные стадии изготовления оснастки и пресс-форм; отсутствуют дефекты литья, и снижается трудоемкость финишной механической обработки» [18].

Для широкого промышленного применения аддитивных технологий в современном машиностроении существуют определенные ограничения, связанные как с отсутствием должной востребованности в отечественном производстве, так и с применением различных материалов, обладающих необходимыми физико-механическими свойствами [18].

Формирование изделия, производится при помощи специального оборудования в соответствии с подготовленной управляющей программой. Различают прямые (direct) и косвенные (indirect) способы формирования изделий. Прямые методы предполагают создание на этапе формирования полностью готового изделия, обладающего всей совокупностью требуемых геометрических и физико-механических свойств. Прямое формирование может дополняться лишь незначительными процедурами пост-обработки, связанными с повышением качества поверхностей изделия и улучшением их внешнего вида: шпатлевание, полирование, грунтование, окрашивание,

покрытие и т. п. Косвенные методы предполагают на этапе формирования создание лишь формы изделия. Обеспечение физико-механических свойств, структуры и прочих характеристик выносится на процесс пост-обработки (рис.3.) [16].

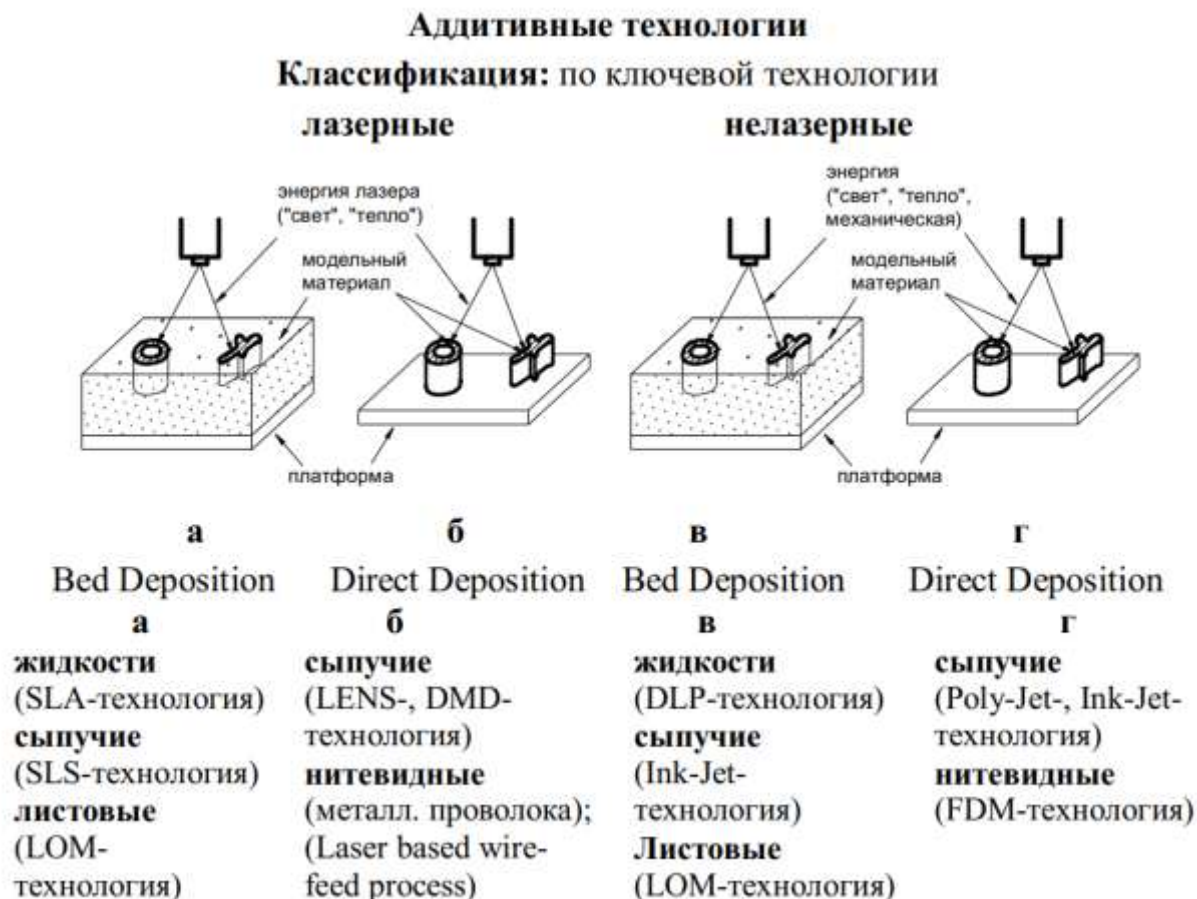


Рис. 3 Классификация и терминология аддитивных технологий [16].

В развитых индустриальных странах ведутся исследовательские работы по изучению технологических процессов послойного синтеза металлических, металлокерамических и наноструктурированных порошковых композиций. Основные направления этих исследований:

- прочность и пластичность синтезированных деталей;
- минимизация пористости;
- создание пористых материалов;
- методы пост-обработки (HIP, термообработка);
- оптимизация химсостава и поиск новых композиций;

- методы получения градиентных материалов (с использованием двух и более видов порошковых металлов);
- создание новых высокопроизводительных лазерных систем для спекания и сплавления металлопорошковых композиций.

1.1.2. Селективное лазерное сплавление – перспективный метод аддитивных технологий.

Selective Laser Sintering (SLS) – селективное лазерное спекание или Selective Laser Melting (SLM) – селективное лазерное сплавление одна из наиболее широко применяемых аддитивных технологий.

Технология аддитивного производства, основанная на послойном спекании порошковых материалов с помощью луча лазера. Важное направление аддитивных технологий. Выполняется на основе лазерных излучателей высокой мощности. Тонкий слой порошкообразного рабочего материала, находящегося в соответствующей камере, переносится на рабочую платформу равномерным тонким слоем с помощью специального ролика – разравнивателя порошка. Лазерный луч, направление которого варьируется подвижным зеркалом, очерчивает на нанесенном слое порошка текущее сечение модели. Поскольку лазерный луч является сфокусированным источником тепла, происходит спекание гранул материала, в результате которого на том месте, где проходил лазерный луч, образуется твердый полимер. Таким образом, на данном этапе формируется очередной слой будущей детали. Подвижная платформа рабочей камеры опускается вниз (как правило, на доли миллиметра) для того, чтобы можно было нанести следующий слой материала поверх отвердевшего. В то же время подвижное дно в камере для подачи порошка подымается вверх. С помощью разравнивателя равномерно наносится следующий слой порошка в рабочей камере поверх предыдущего, под действием лазера новый слой затвердевает и спекается с предыдущим [19].

Действия повторяются до тех пор, пока не будет готова вся модель. Таким образом, распечатываемая деталь как бы выращивается снизу вверх [19].

Преимуществом технологии селективного лазерного спекания – это высокая производительность: SLS - принтеры не нуждаются в полном расплавлении частиц материала, что позволяет им работать гораздо быстрее других порошковых 3D-принтеров [20]. Прекрасные механические свойства готовой продукции: высокая прочность, точность построения, качественные поверхности. Оборудование для SLS-печати оснащается большими камерами построения (до 750 мм), что позволяет изготавливать большие изделия или целые партии небольших объектов за одну печатную сессию [19]. Не требует материала поддержки: процесс практически безотходен, неиспользованный материал может повторно использоваться для печати [20]. Необходимости в поддерживающем материале не требуется, поскольку незатвердевший порошок окружает модель и поддерживает все ее части на протяжении всего процесса 3D -печати. Сфера применения SLS технологии обширна и находят применение в таких высокотехнологичных отраслях, как: детали силовых установок, авиастроение, машиностроение, космонавтика, электрические приборы, дизайн [19]. Высокая производительность: SLS - принтеры не нуждаются в полном расплавлении частиц материала, что позволяет им работать гораздо быстрее других порошковых 3D-принтеров [19].

Сложные металлические детали, распечатанные, по технологии SLS показаны на рисунке 4.



Рис. 4 Сложные металлические детали [19].

Что лучше печатается: прочные и точные промышленные изделия для функциональных тестов, объекты со сложной геометрией, детали механизмов и двигателей, небольшие партии готовых изделий. Недостатками считаются высокая стоимость расходных материалов и оборудования.

Метод был создан в середине 1980-х в Техасском университете в Остине Карлом Декардом и Джо Биманом. В 1989 году изобретение запатентовала основанная Декардом фирма DTM Corporation, которую впоследствии приобрела компания 3D Systems [10].

На рисунке 5 показан процесс селективного лазерного сплавления.

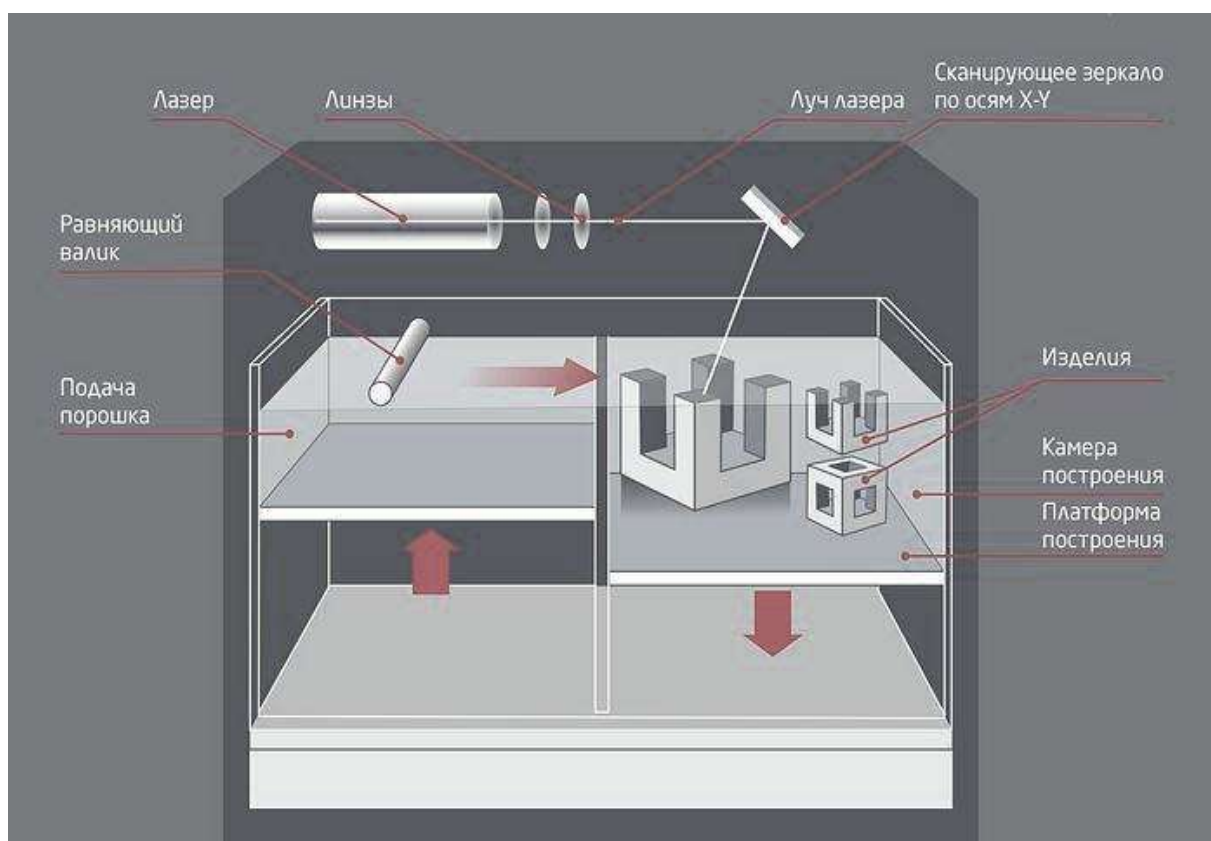


Рис. 5 Процесс селективного лазерного сплавления

Лазерный луч спекает слои порошка в необходимых участках, совпадающих с сечением 3D-модели. Подается следующий слой порошка, камера построения опускается на уровень ниже. Процедура повторяется, пока не получится готовое изделие.

3D-принтеры, работающие по технологии SLS, имеют гибкие настройки. В зависимости от поставленных задач регулируются такие параметры, как температура, глубина и время воздействия. Также пользователь может задать работу либо только с переходными границами, либо спекание по всей глубине модели. По завершении процесса построения может потребоваться финишная обработка. Для придания изделию идеально ровной формы выполняют полировку или шлифовку. Однако по мере усовершенствования технологий потребность в постобработке изделий, изготовленных на SLS-принтерах, становится все менее актуальной.

Его особенность и преимущества в том, что для построения геометрически сложных деталей не используется материал поддержки. В

роли поддерживающей структуры выступает порошок, не подвергшийся воздействию лазерного луча [10].

Отсутствие поддержек дает возможность моделировать сложнейшую геометрию (как внутренних элементов, так и целого изделия), которую нельзя добиться при создании изделий традиционными методами. Кроме того, исключается риск повреждения напечатанной детали. Как результат – значительная экономия времени на сборку и средств на материалы.

Модели и прототипы, созданные методом SLS, имеют превосходные механические характеристики: они отличаются прочностью, гибкостью, хорошей детализацией и термической стабильностью. SLS - технология не имеет себе равных, когда стоит задача изготовить долговечные, пластиковые продуктов. В плане прочности полученных изделий селективное лазерное спекание конкурирует с традиционными способами производства, такими как литье под давлением [21].

Как и у всех аддитивных технологий, у SLS-метода есть минусы. Во-первых, выращенные модели, как правило, требуют последующей обработки из-за шероховатой или пористой структуры. Во-вторых, предъявляются особые требования к помещению и условиям эксплуатации (главное – это фильтрация воздуха при кондиционировании, так как порошок вреден). Наконец, как и в случае со всеми технологиями 3D-печати, это необходимость в крупных первоначальных инвестициях из-за высокой стоимости материалов и оборудования.

Благодаря широкому ассортименту материалов технология SLS достаточно универсальна. Сюда входят однокомпонентные порошки или порошковые смеси из различных материалов, таких как: полимеры (в том числе полистирол, полиамид, нейлон); металлы и сплавы (сталь, титан, драгоценные металлы, сплавы кобальта и хрома); композитные материалы; керамика; стекло; песчаные составы [10].

SLS-принтеры становятся производительнее, компактнее, проще в эксплуатации, при этом на рынке уже появились настольные модели,

ориентированные на домашнее использование. Потенциал селективного лазерного спекания огромен, ведь этот метод открывает простор для реализации самых перспективных технических и творческих идей [20].

1.2. Методы получения порошков для аддитивных технологий

1.2.1. Традиционные методы получения порошков

Существуют разнообразные методы получения металлопорошков. Условно их разделяют на физико-химические и механические [16].

К физико-химическим относят методы, связанные с физико-химическими превращениями исходного сырья, при этом химический состав и структура конечного продукта – порошка – существенно отличается от исходного материала. Механические методы обеспечивают производство порошка из сырья без существенного изменения химического состава. К механическим методам относятся, например, многочисленные варианты размол в мельницах, а также диспергирование расплавов посредством струи газа или жидкости, этот процесс называют также атомизацией [16].

Частицы порошков, получаемых механическими методами путем размол, имеют осколочную, неправильную форму. В изготовленном порошке содержится относительно большое количество примесей – продуктов износа размольных тел и футеровки мельницы. Поэтому эти методы не применяют для получения порошков, используемых в аддитивных технологиях [16].

Диспергирование расплава – наиболее производительный, экономичный и эффективный способ получения мелких и средних порошков металлов. 60-70 % объема всех промышленных порошков получают именно этим методом [18]. Распыление (атомизацию) широко применяют при производстве порошков многокомпонентных сплавов, в частности, с аморфной структурой, которая позволяет достичь равномерного химического состава композиции, даже при содержании

легирующих компонентов выше их предела растворимости в основном компоненте сплава. Кроме того, порошки, полученные с использованием методов диспергирования расплавов, имеют форму частиц, близкую к сферической [16].

Более 90% всех порошков, применяемых в аддитивных технологиях, получают методами диспергирования расплава. Основные технологии получения порошков для АМ-машин: газовая атомизация; вакуумная атомизация; центробежная атомизация.

Согласно технологии газовой атомизации, металл расплавляют в плавильной камере (обычно в вакууме или инертной среде) и затем сливают в управляемом режиме через специальное устройство – распылитель, где производится разрушение потока жидкого металла струей инертного газа под давлением (рис. 6). Для получения мелких порошков ($d = 10-40$ мкм), наиболее часто применяемых в аддитивных технологиях, используют так называемые VIM-атомайзеры, в которых плавильную камеру для минимизации контакта расплава с кислородом и азотом вакуумируют [16].

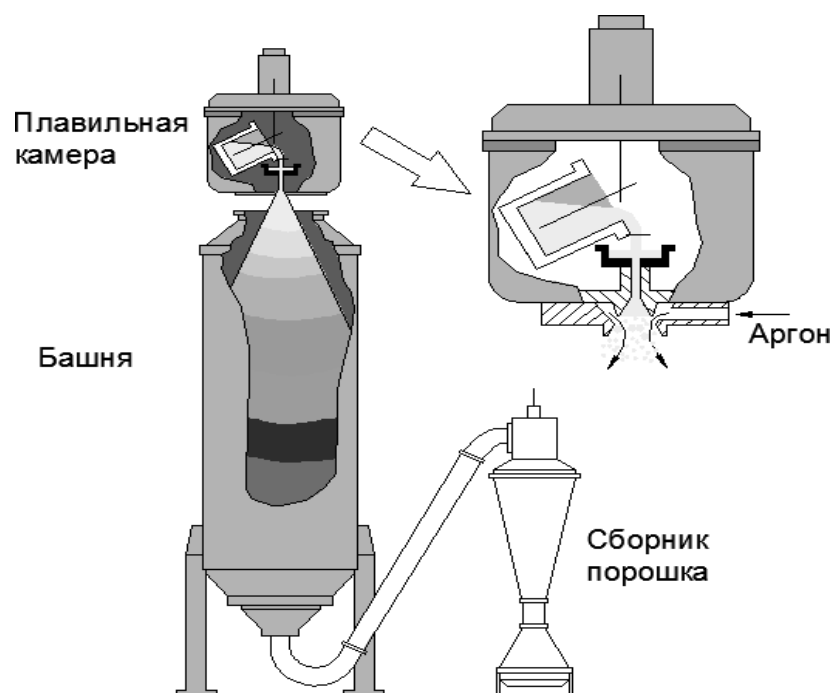


Рис. 6 Схема атомайзера VIGA [16]

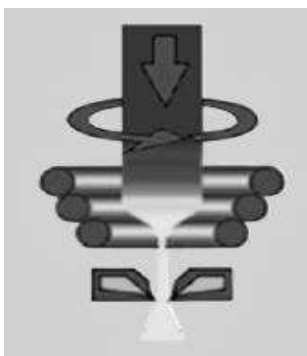
Технологию получения порошков с использованием машин для вакуумного плавления называют VIGA– Vacuum Induction MeltInert Gas Atomization, т.е. «технология газового распыления металла, расплавленного в вакуумной камере путем индукционного нагрева» [16].

Атомайзеры типа VIGA применяется, в частности, для получения следующих порошков: никелевые жаропрочные сплавы для деталей авиационных и стационарных турбин; сплавы на основе кобальта для использования в медицине, стоматологии и производстве мишеней ионного распыления; высоколегированные стали (например, инструментальная и быстрорежущая сталь) с очень высоким содержанием карбидов; цветные металлы (например, медные или оловянные сплавы) для различного применения [16].

Технология EIGA является одним из видов газовой атомизации. EIGA- атомайзеры (Electrode induction guideinertgas atomization – индукционная плавка электрода распылением газом) применяют для получения металлических порошков методом распыления в струе аргона. Согласно технологии EIGA (рис. 7), предварительно выплавленные в форме электродов прутки (feedstock–сырье, исходный материал) подвергаются индукционной плавке [16].



а



б



в

Рис. 7 Технология EIGA: а – исходный материал для получения порошка; б – схема процесса; в – процесс EIGA [16]

Данная технология разработана для получения порошков реактивных металлов – Ti, Zr, Hf, V, Pt, Ir, Nb, Mo и т.д., поскольку плавка этих металлов в керамических тиглях затруднена даже в условиях вакуума [16, 23].

1.2.2. Получение порошков механической активацией

Для механической активации (МА) используются разные типы высокоэнергетических мельниц [24]. В работе использовалась планетарная шаровая мельница АГО-2 производства РФ. Принцип работы мельницы заключается в совершении планетоподобных движений емкостей с металлическим шарами – стаканов (рис. 8). Они расположены на вращающемся опорном диске, и специальный механизм привода заставляет их вращаться вокруг своих собственных осей [25].

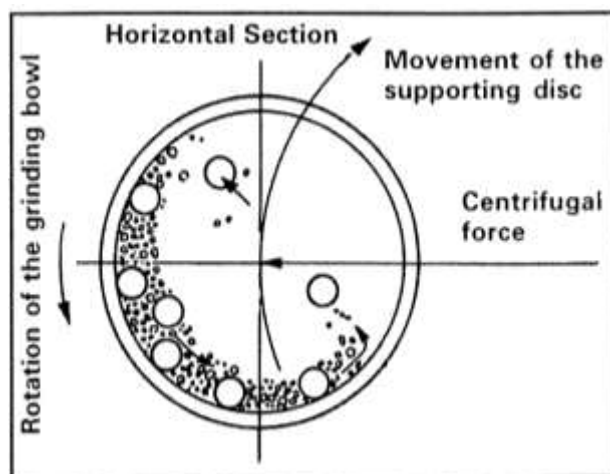


Рис. 8 Схема, изображающая движение шаров внутри шаровой мельницы [26]

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 тому, что 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 [26].

При механической активации в планетарных шаровых мельницах меняется морфология и микроструктура исходных компонентов [26]. В смесях металлов формируются механокомпозиты в виде частиц с формой, приближенной к округлой. Это, как правило, объекты размером от десятков до сотен микрометров. При этом внутри частиц образуются структурные элементы с размером зерна исходных компонентов от субмикронаметровых величин [27].

Считается, что основным видом деформации, реализующимся при МА, является удар со сдвигом [27]. Известно, что при высоких сжимающих нагрузках диффузионные процессы замедляются. Поэтому при пониженной температуре деформации ($(0.2 \div 0.3) < T_{пл}$) накопление дефектов максимально, а развитие релаксационных процессов заторможено [27]. Именно это и приводит к генерации в МА-образце высоких концентраций неравновесных дефектов и внутренних напряжений. Все имеющиеся на сегодняшний день экспериментальные данные свидетельствуют, что в результате интенсивной пластической деформации, реализующейся при МА реакционных смесей с пластичными компонентами, образуются механокомпозиты, в которых происходит значительное диспергирование реагентов, увеличивается площадь их контакта и создается высокая концентрация неравновесных дефектов и внутренних напряжений [29-33].

Кроме того, очевидно, что уже на самых ранних этапах активации исходной реакционной смеси идет разрушение оксидных слоев и адсорбированных пленок на частицах порошков, которые являются серьезным диффузионным барьером для начала взаимодействия. Особенно это существенно для составов, содержащих алюминий [26].

1.3. Использование для СЛС порошков интерметаллидов, полученных механической активацией и тепловым взрывом

1.3.1. Интерметаллид Ni_3Al

Информация о видах и количествах различных фаз, присутствующих в системе сплава Ni-Al [34]. Простейший тип фазовой диаграммы для системы Ni-Al показан на рис. 9 [35].

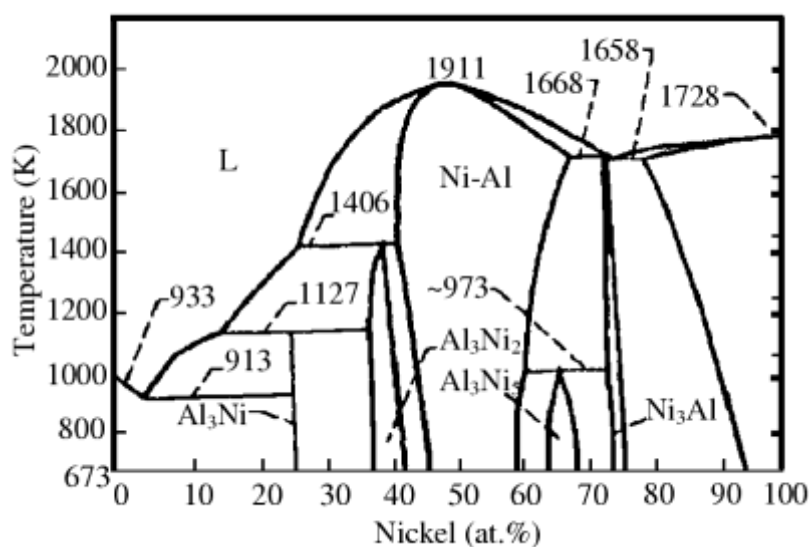


Рис. 9 Фазовая диаграмма Ni-Al.

Поскольку концентрация Ni в сплаве варьируется, в системе сплава наблюдаются разные фазы. При 25 атомных процентах Ni наблюдается фаза Al_3Ni , а в фазе Al_3Ni_2 - 40 атомных процентов Ni. Упорядоченные фазы NiAl и Ni_3Al появляются при 50 и 75 атомных процентах Ni соответственно. Помимо всего этого, на этой фазовой диаграмме также присутствуют

некоторые другие фазы и основная информация об их характеристиках плавления.

Кристаллическая структура Ni_2Al является упорядоченной кубической, а ее пространственная группа $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$. Strukturbericht обозначение для этой структуры L12 [36]. Элементарная ячейка упорядоченного Ni_3Al удерживает атомы Al по углам куба, в то время как атомы Ni расположены на гранях куба в виде ф.с. решетки. Параметр решетки Ni_3Al составляет 0,357 нм [37]. Параметр решетки зависит не только от природы и количества добавляемых растворенных веществ, но также от условий затвердевания и термической обработки.

1.3.2. Механическая активация компонентов

Для изготовления образцов из интерметаллида методом СЛС был выбран порошок, полученный МА с последующим проведением реакции самораспространяющегося синтеза тепловым взрывом. Для этого использовался механически активированный составы $3\text{Ni} + \text{Al}$.

В работе [38] показаны этапы эволюции микроструктуры со временем измельчения активируемого состава $3\text{Ni} + \text{Al}$ (рис. 10.)

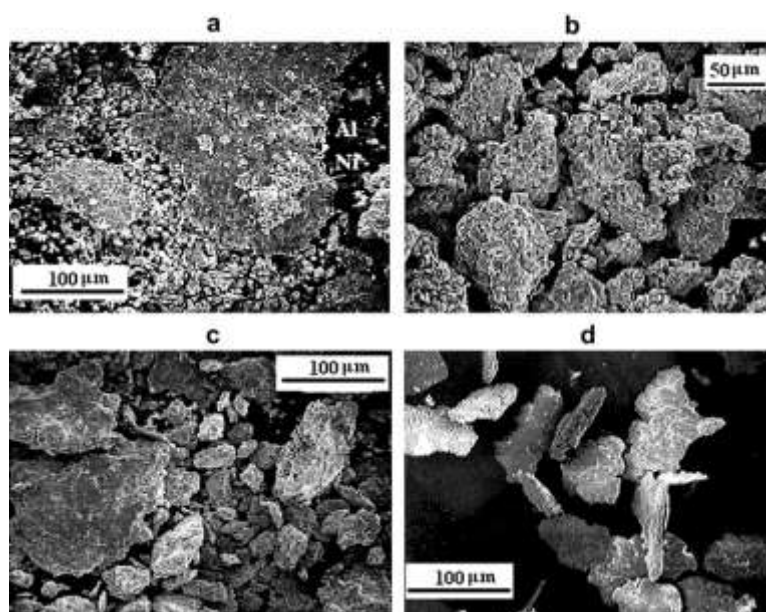


Рис. 10 Сканирующие электронно-микроскопические изображения порошков Ni-Al, показывающие эволюцию микроструктуры в порошках со временем измельчения: а - 10 с, b - 30 с, с - 90 с, d - 120 с [38]

На первом этапе измельчения – 10 с помола более твердые частицы никеля внедряются в алюминий (рис. 10, а). После 30 с помола образуются очень крупные пористые частицы механокомпозита (рис. 10, b). Через 90 с появляются композитные частицы с относительно плотной поверхностью. при дальнейшем измельчении композитные частицы не меняют свою морфологию [38]. Результаты просвечивающей электронной микроскопии показывают, что после 90 с помола размер зерен исходных реагентов уменьшается до нанометрового масштаба [39].

По данным рентгеноструктурного анализа, во время измельчения большая часть Al превращается в рентгеноаморфное состояние (рис. 11).

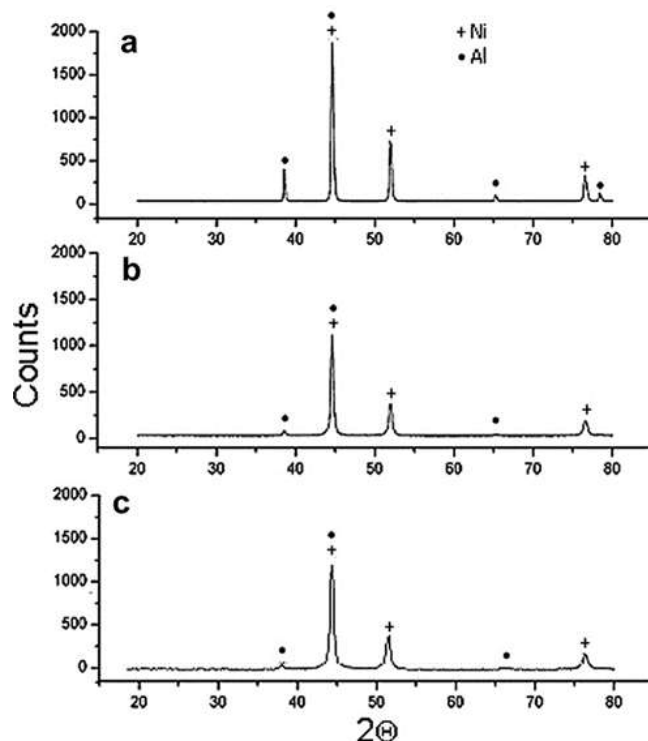


Рис. 11 Рентгенограммы исходной порошковой смеси (а) и смеси, измельченной в течение 150 с (б) и 210 с (в). [38]

Таким образом, со временем измельчения эволюция микроструктуры приводит к образованию наноструктурированных механокомпозитных пластинок [40,41].

1.3.3. Получение интерметаллида тепловым взрывом

Самораспространяющийся синтез в экзотермических смесях можно проводить в двух режимах: послойного горения (СВС) и теплового взрыва (ТВ). Большая часть экспериментальных исследований в механически активированных составах посвящена изучению режимов послойного горения [42]. Особенности динамики тепловыделения в режиме ТВ в активированных системах еще мало изучены. Вместе с тем синтез в режиме ТВ обладает рядом преимуществ, обусловленных возможностью внешнего воздействия на реакционную способность смеси путем изменения темпа внешнего нагрева, температуры окружающей среды, времени выдержки образца после прохождения реакции и т. д.

В работе [38] показано, что предварительная механическая активация (МА) исходных порошковых смесей, которая приводит к существенному изменению микроструктуры образца и аккумуляции подводимой энергии, должна влиять и на основные параметры последующего теплового взрыва. Для ТВ таковыми являются температура его инициирования (T_{ign}), максимальная температура процесса (T_{max}) и фазовый состав конечных продуктов (рис.12).

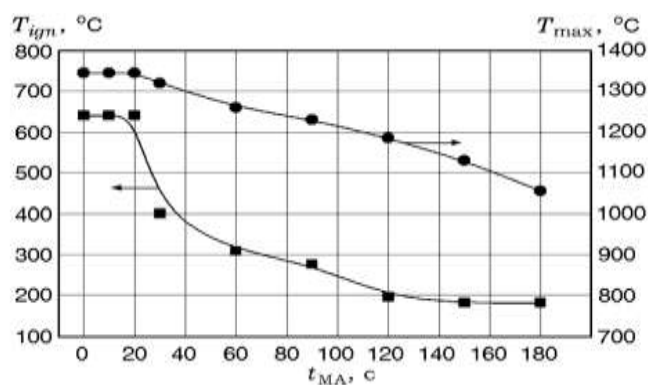


Рис.12 Зависимости температуры инициирования и максимальной температуры теплового взрыва состава $3\text{Ni} + \text{Al}$ от времени предварительной МА [38]

Во всех образцах присутствует интерметаллид Ni_3Al (рис. 13). На рентгенограммах образцов, измельченных в течение 10-40 с, присутствуют слабые линии интерметаллида Ni_2Al_3 наряду с линиями Ni_3Al . При дальнейшем измельчении линии интерметаллида Ni_2Al_3 исчезают. Полное превращение реагентов в продукт Ni_3Al происходит в смесях, размолотых в течение периодов времени 120 с и более (рис. 13).

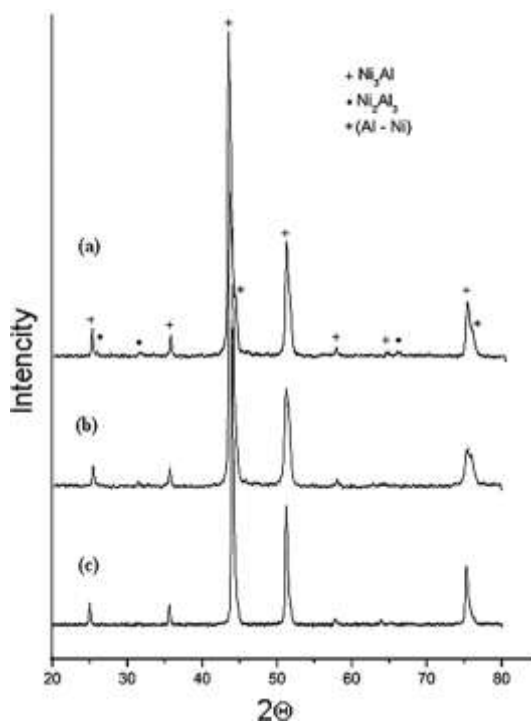


Рис. 13 Рентгенограммы продуктов теплового взрыва. Время измельчения: (а) 30 с; (б) 60 с; (с) 120 с [38]

В результате исследования на сканирующем электронном микроскопе установлено, что при ТВ случае реализуется истинно твердофазный режим реакции. При электронно-микроскопическом исследовании на просвечивающем микроскопе установлено, что размер зерна Ni_3Al в продуктах твердофазной реакции составляет 30÷100 нм [38].

2. Материалы и методы

2.1. Получение порошка для СЛС

Для приготовления исходных реакционной смеси использовались никель марки ПНК-УТ-3 с чистотой 99.85 % Ni и алюминий ПА-4 с чистотой 98 % Al. Механическую активацию проводили в планетарной шаровой мельнице АГО-2 с водяным охлаждением (рис. 14) [38].



а



б



в

Рис. 14 Внешний вид планетарной шаровой мельницы АГО-2 в открытом состоянии (а) и стаканы в закрытом (б) и открытом состоянии (в)

Объем каждого из двух стальных барабанов мельницы 160 см^3 . Диаметр шаров 8 мм, масса шаров в каждом барабане 200 г, масса образца 10 г. Центробежное ускорение шаров $400 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ (40g). Для предотвращения окисления во время МА, барабаны с образцами заполняли аргоном. После МА образцы выгружали из барабанов в боксе с аргоновой средой. Время активации составляло 3 минуты.

Проведение реакции самораспространяющегося синтеза тепловым взрывом осуществлялось с помощью специально изготовленного реактора, в виде стального цилиндра 1 с внутренним диаметром 38 мм и толщина стенки 1 мм (рис. 15).

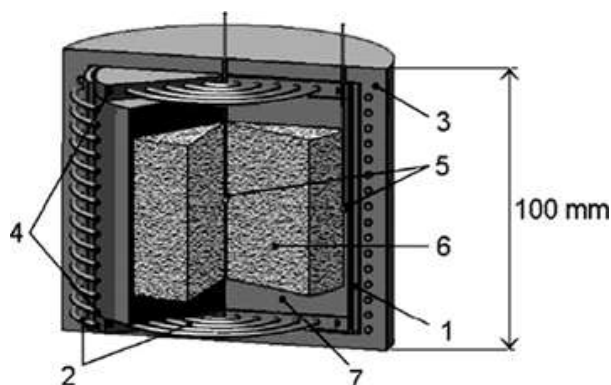


Рис. 15 Реактор теплового взрыва: 1 – стальной цилиндр; 2 – нихромная катушка (обогреватель); 3 – изоляционный слой; 4 – краевые нагревательные элементы; 5 – вольфрам-рениевые термопары; 6 – порошковая смесь; 7 – изоляционный материал[38].

Порошкообразные измельченные порошки загружали в реакционную полость и прессовали с помощью одноосного давления в цилиндры диаметром 38 мм и высотой 50 мм с относительной плотностью 70-75% от теоретического значения. Нагревание осуществлялось с помощью нихромовой катушки 2, через которую проходил электрический ток. Катушка была изолирована от поверхности изолирующим слоем 3. Чтобы исключить осевые градиенты, использовались краевые нагревательные элементы 4, содержащие изолирующий слой толщиной 5 мм с отверстиями, выполненными вдоль его диаметра. Все три нагревательных элемента были соединены последовательно. Вольфрам-рениевые термопары диаметром 100 мм 5 были использованы для контроля температуры вблизи поверхности реактора, вблизи его краев и внутри шихты 6. Порошки были изолированы от краевых нагревательных элементов и от окружающей среды с помощью изолирующих прокладок 7. В системе выдерживали пониженное давление (0,1 атм). Температура нагревателя 700°C обеспечивала скорость нагрева стенки реактора $2,2 \text{ K s}^{-1}$ [38].

2.2. Получение образцов Ni_3Al методом СЛС.

Изготовление опытных образцов и поиск значений параметров SLS осуществлялись на установке «ЛУЧ», разработанной в «Центре современных технологий» НИ ТПУ. Схема рабочей камеры установки приведена на рисунке 16.

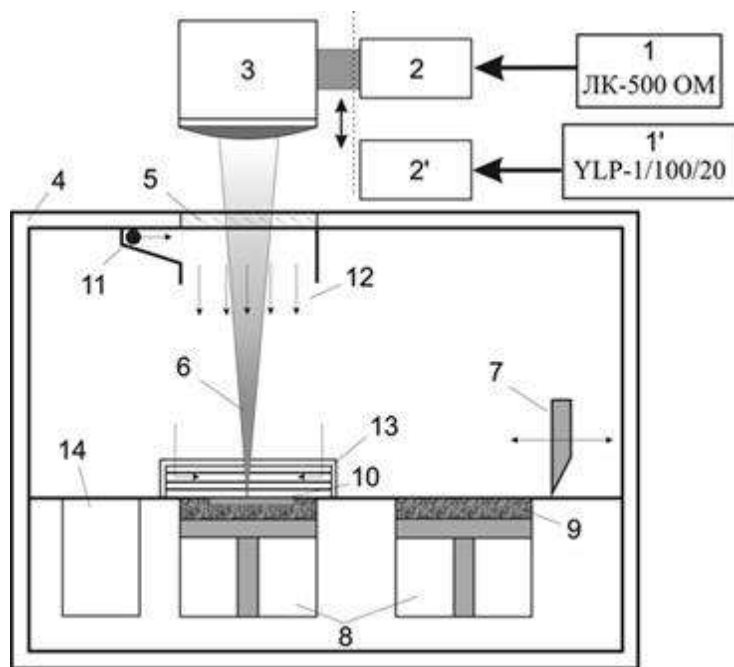


Рис. 16 Схема рабочей камеры для селективного лазерного сплавления «ЛУЧ»: 1, 1' – волоконный лазер; 2, 2' – коллиматор; 3 – сканатор; 4 – металлический корпус камеры; 5 – оптическое окно в камеру; 6 – фокусируемое лазерное излучение; 7 – нож ракеля; 8 – подъемно-опускающиеся платформы; 9 – порошок; 10 – деталь построения; 11 – система подачи инертного газа; 12 – газовый поток; 13 – система отвода газа из камеры; 14 – бункер для излишков порошка

Лазерное излучение генерируется лазером ЛК-500-ОМ 1. Лазер позволяет генерировать непрерывное излучение с длиной волны 1,06 мкм и мощностью 100 – 500 Вт. При помощи коллиматора 2 лазерное излучение вводится в сканатор 3. Сканатор представляет собой 2-х осевую гальванометрическую сканаторную головку. На выходе излучение фокусируется при помощи F-Theta линзы с фокусным расстоянием 330 мм. Излучение вводится в камеру через оптическое окно 5. Лазерный луч 6

фокусируется на поверхности слоя порошка и при помощи развертки сканатора 3 перемещается по заданной траектории, что приводит к сплавлению порошка в необходимых местах. После обработки лазером слоя порошка левая платформа 8 опускается, а ракель 7 наносит новый слой порошка. При помощи правой платформы 8 осуществляется подача порошка. Отверстия в камере 11 и 13 позволяют осуществлять циркулирование потока инертного газа 12 в камере 4, а также создавать вакуум до 1,3 Па. Поле обработки лазером ограничивается размерами подъемно-опускающейся платформы и равно 100x100 мм².

Изготовление образцов осуществлялось в защитной атмосфере аргона при давлении ~160 МПа. Перед проведением процесса с целью дегазации проводился подогрев подложки, и бункера с порошком до температуры 300°C. Время прогрева в вакууме составляло 1 час.

В качестве материала подложки использовалась аустенитная сталь. Каждый слой получали в два прохода лазером с одинаковой разверткой. Схематически траектория перемещения лазера для этих слоев приведена на рисунке 17.

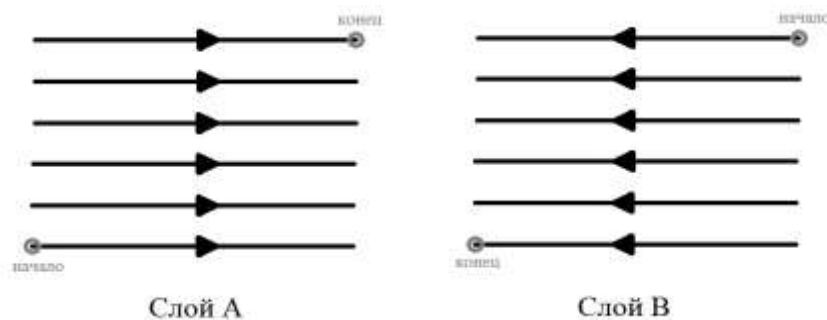


Рис. 17 Схематическая траектория перемещения лазера.

Использовалась построчная стратегия сканирования, развертка для каждого последующего слоя была развернута на 180 °. Таким образом, образец состоит из слоев типа А и В.

Диаметр лазерного луча на поверхности составлял 205 мкм. Расстояние между линиями сканирования изменялась. Размер площадки сканирования – 4 x 8 мм. При подборе технологических параметров процесса СЛС было

проведено несколько экспериментов с выбором значения мощности (P) и скорости сканирования (V) лазерного пучка.

Выбор скорости сканирования обусловлен двумя эффектами, сопровождающими процесс лазерного сплавления. При низкой скорости сканирования повышается энергозатраты лазерного излучения в единицу площади, что повышает эффективность проплавления порошка. С другой стороны, как показано в работах [43, 44], при низкой скорости сканирования расплавленный порошок под действием сил поверхностного натяжения собирается в сферические образования, которые, во-первых, нарушают монолитность сплавленного слоя, во-вторых, выступают выше уровня полученного слоя и затрудняют равномерное распределение порошка при формировании следующего слоя. Кроме того, большая скорость сканирования сложна для обрабатываемой сканаторной системой, в результате чего лазер проходит по неверной траектории. Поэтому для получения качественных образцов необходимо оптимизировать скорость сканирования лазерного пучка с учетом мощности излучения.

2.3. Методы анализа структуры и свойства образцов

Исследования морфологии, структуры, фазового и элементного состава порошков и образцов полученного материала проводились методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), энергодисперсионного микроанализа (ЭДМА), рентгеноструктурного анализа (РСА) и в ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН (г. Томск), ЦКП «Лаборатория электронной микроскопии» НГТУ (г. Новосибирск), ИХТТМ СО РАН (г. Новосибирск).

Изучение морфологии порошков проводилось на свободно насыпанных порошках, а также на шлифах, залитых в эпоксидную смолу. Поверхность шлифов травилась раствором H_2SO_4 – 20%; HNO_3 – 60% и HCl – 20 %. Микроструктуру образцов после травления изучали на микроскопе CarlZeiss AxioObserver. РЭМ и ЭДМА-исследования осуществлялись на

микроскопах SEM 515 (Philips, Нидерланды) и LEO EVO 50 (Zeiss, Германия), оснащенных микроанализаторами для исследований элементного состава.

РЭМ – используется, в первую очередь, для получения увеличенных изображений объектов вплоть до субнанометровых размеров. Как следует из названия, изображение исследуемых объектов в РЭМ, формируется в результате сканирования образца сфокусированным пучком электронов (пучком первичных электронов), последовательно точка за точкой. При этом при взаимодействии электронного пучка с материалом/поверхностью исследуемого объекта происходит возбуждение большого количества разнообразных сигналов.

ЭДМА – это аналитический метод элементного анализа твёрдого вещества, базирующийся на анализе энергии эмиссии его рентгеновского спектра, вариант рентгеноспектрального анализа.

РСА – это один из дифракционных методов исследования структуры вещества по распределению в пространстве и интенсивностям рассеянного на анализируемом объекте рентгеновского излучения. РСА-исследования проводились на рентгеновских дифрактометрах ДРОН-7 в монохроматическом $\text{CoK}\alpha$ -излучении и ДРОН-4 в монохроматическом $\text{CuK}\alpha$ -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. Расчеты параметров решетки, соотношения фаз, областей когерентного рассеяния, микроискажений решетки проводились в программе powdercell 2.4 (Германия).

Аттестация внутреннего строения образцов осуществлялась с помощью рентгеновской компьютерной томографии для неразрушающего анализа структуры синтезированных материалов на приборе TOLMI-150-10 (НИ ТПУ, Томск).

Микротвёрдость измерялась на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 100 г. Принцип работы прибора основан на вдавливании четырехгранной алмазной пирамиды с углом расхождения 120 градусов в исследуемый материал (образец) под определенной нагрузкой и измерения линейной величины диагонали полученного отпечатка.

3. Результаты эксперимента

3.1. Исследование строения порошков

На рисунке 18 мы видим исследуемый порошок, полученный механической активацией и тепловым взрывом.

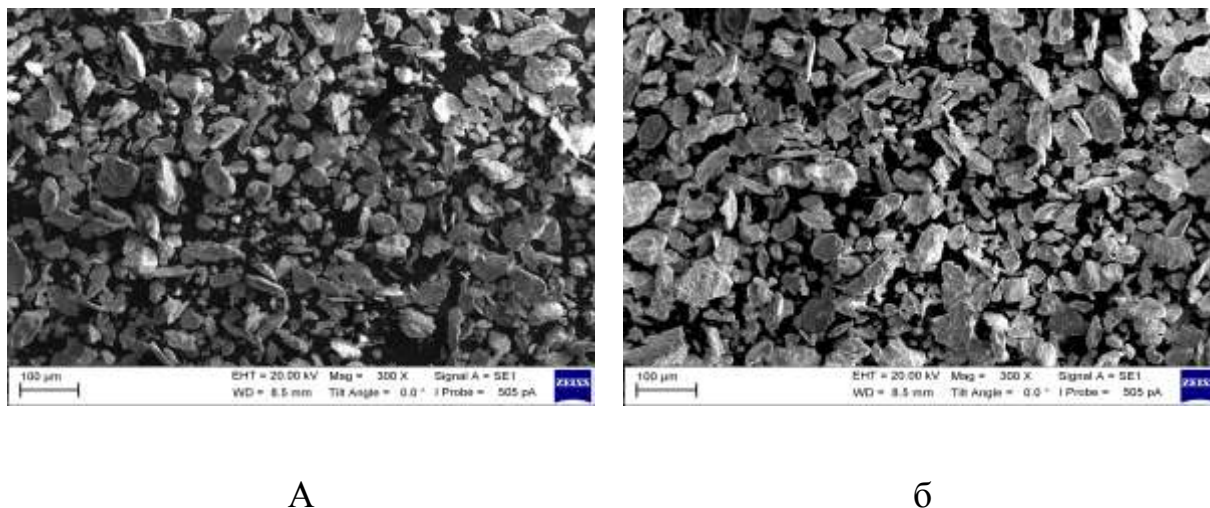
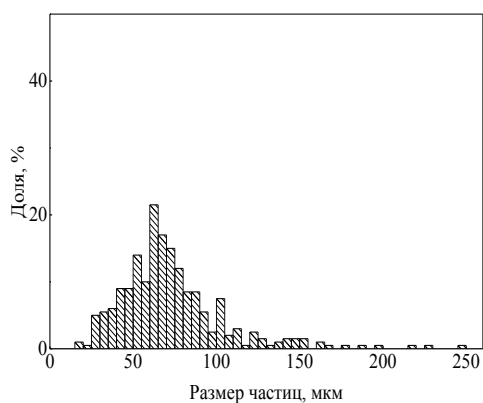


Рис. 18 РЭМ изображение насыпки (а,б) порошка Ni_3Al , полученного механической активацией и тепловым взрывом.

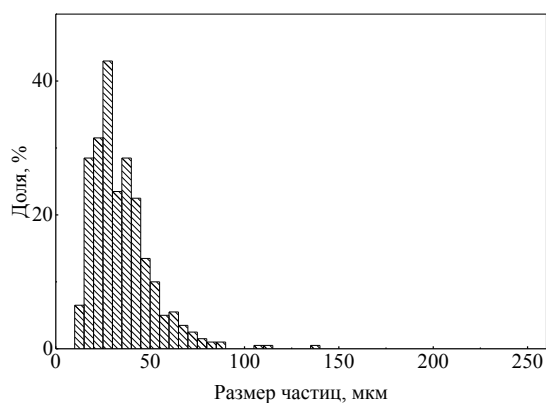
Частицы порошка в виде дисков имеет форму близкую к овальной. Размер частиц варьируется в большом интервале от 15 до 250 мкм.

На рисунке 19 а можем увидеть распределение размеров частиц порошка в исходном состоянии. Основная часть порошка – 80% составляет интервал от 15 до 100 мкм. Долю крупной фракции от 150 до 250 мкм приходится небольшая доля порошка.

Появление частиц такого большого размера может быть связано с процессом проведения реакции теплового взрыва. Коагуляции части частиц порошка при нагреве. Однако доля таких частиц мала.



А



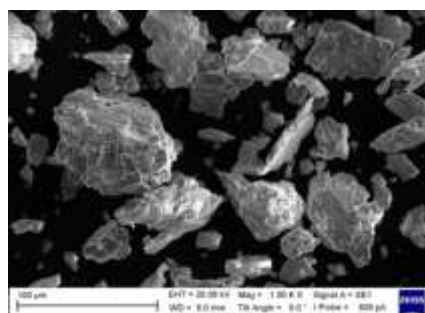
Б

Рис. 19 Гистограммы распределения размеров порошка Ni_3Al , полученного механической активацией и тепловым взрывом: а) весь порошок, б) отсеянная фракция

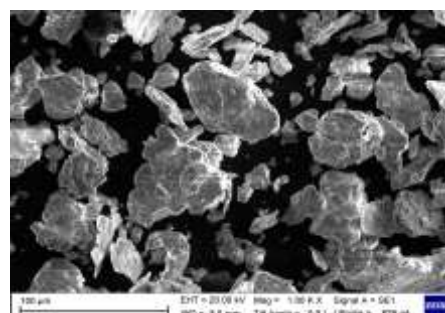
Для СЛС необходимо использовать фракцию порошка менее 70 мкм. Поэтому был произведен отсев необходимой фракции порошка через сито с размером ячейки 70 мкм.

Как показано на гистограмме рисунка 19 б, диапазон размера частиц после отсева составляет от 10 до 90 мкм. Размер частиц больше ячейки сита, так как форма частиц овальная. По меньшему сечению размер может составлять значение меньше 70 мкм, а по большему сечению 90 и более мкм. Таким образом, частицы с большим средним размером оказались в отсыпке порошка.

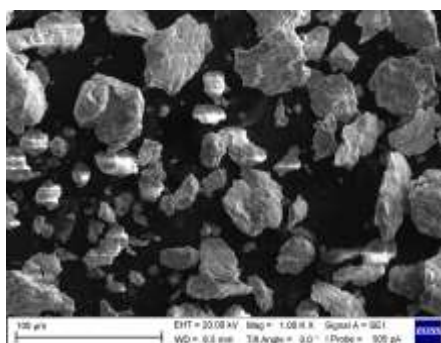
На рисунке 20 изображены отдельные частицы отсеянного порошка. На большем увеличении видно, что частицы имеют чашуйчатую морфологию, характерную для частиц порошка после МА (рис. 10 с). Следовательно, в процессе синтеза не произошло изменения морфологии частиц: их формы и состояния поверхности.



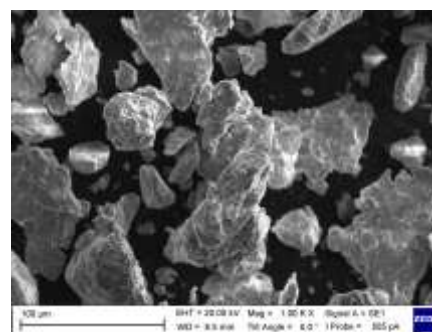
а



б



в



г

Рис. 20 РЭМ изображение отдельных частиц (а,б,в,г) порошка Ni_3Al , полученного механической активацией и тепловым взрывом.

По данным элементного анализа двенадцати насыпок исследуемого порошка Ni_3Al , среднее соотношение компонентов составляет Al около 11% и Ni около 89% (таблица 1, рис. 21).

Таблица 1. Соотношение компонентов в частицах порошка после механической активации и синтеза

№	Ni, вес. %	Al, вес. %
1	83,4	16,6
2	89,6	10,4
3	90,3	9,7
4	85,2	14,8
5	89,3	10,7
6	92,1	7,9
7	91,9	8,1
8	88,1	11,9
9	89	11
10	90,6	9,4
11	91,7	8,3
12	90,6	9,4
Среднее значение	89,4	10,6

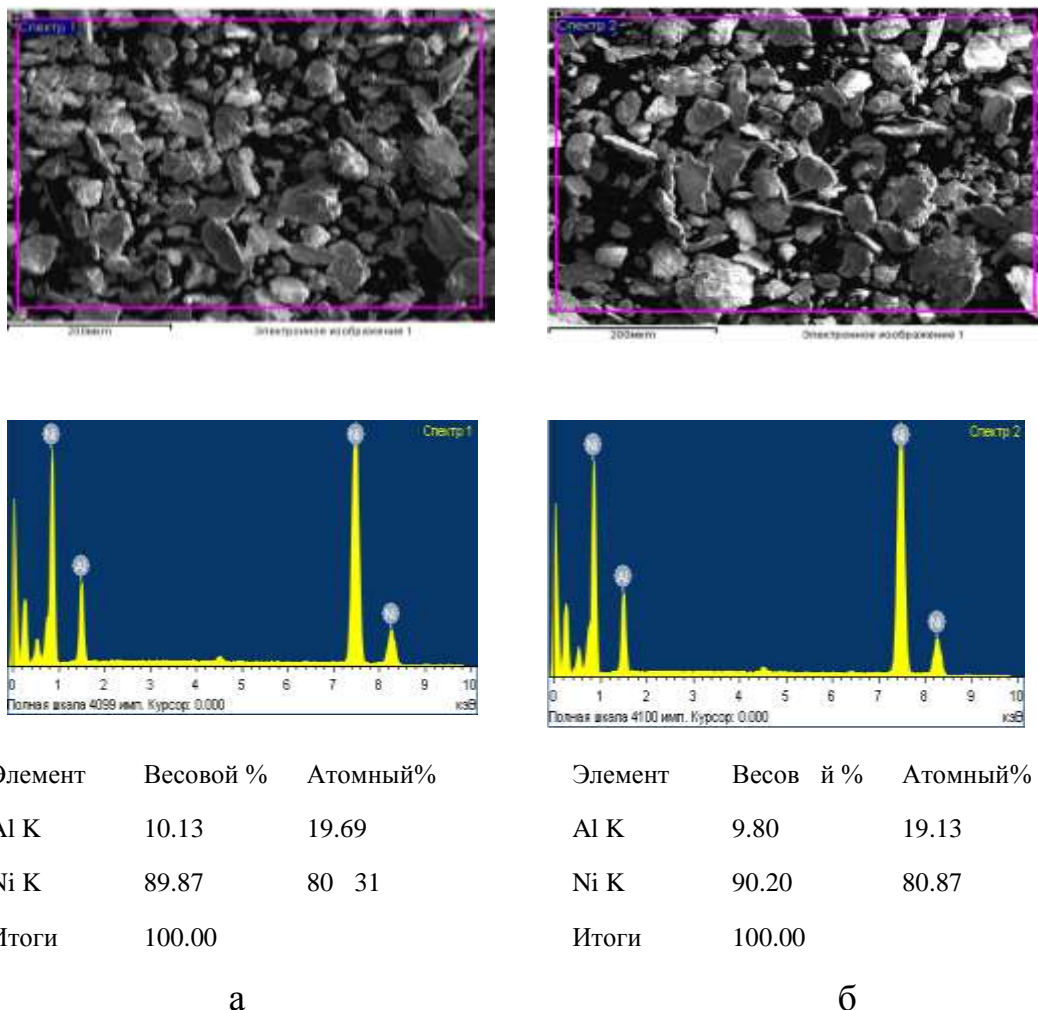


Рис. 21 Данные элементного анализа двух насыпок порошка (а,б) Ni_3Al , полученного механической активацией.

Как видно из данных на рисунке 21, в атомных процентах соотношение компонентов оставляет Al около 19 % и Ni около 81%. Это не соответствует соотношению компонентов в интерметаллиде Ni_3Al на диаграмме состояния Ni–Al (рис. 9). Возможно, это связано с ошибкой измерения прибора или другой ошибкой.

По данным РСА фазовый состав порошкового материала представлен одной фазой – Ni_3Al с кубической кристаллической решеткой [45]. Соотношения интенсивностей рефлексов-отражений от плоскостей фазы Ni_3Al соответствуют эталонным [46]. Все пики уширены. Это может быть связано с измельчением структурных элементов, искажениями кристаллической решетки, а также с ростом внутренних напряжений.

Рассчитанные значения размера области когерентного рассеяния составили ~100 нм. Напряжения второго рода оказались равными $\Delta d/d = 4,9 \cdot 10^{-3}$.

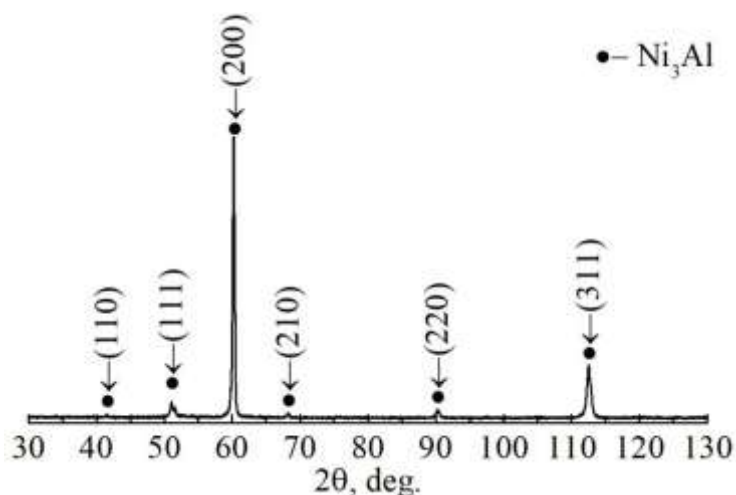
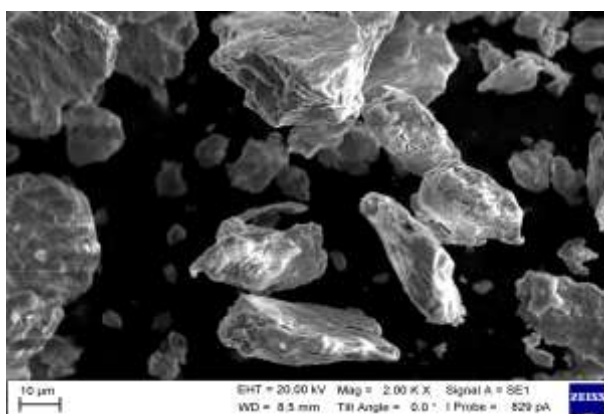
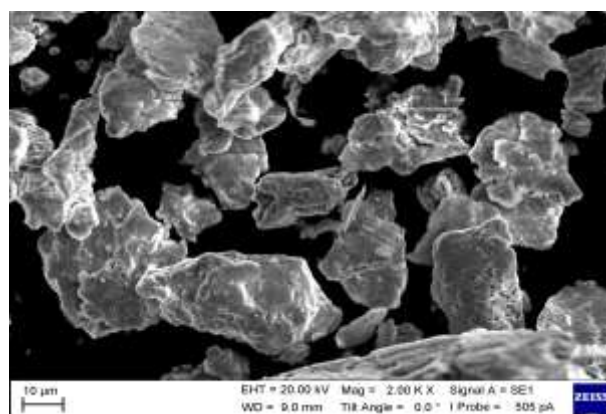


Рис. 22 Рентгеновский профиль, снятый с порошка Ni_3Al , полученного механической активацией и тепловым взрывом.

На рисунке 23, на большом увеличении мы видим внутреннее строение частицы порошка на изломе. Мы видим мелкозернистую структуру с явно выраженной текстурой сохранившейся в частицах после пластической деформации в процессе механической активации.



а



б

Рис. 23 РЭМ изображение внутреннего строения (а,б) порошка Ni_3Al , полученного механической активацией и тепловым взрывом.

На основании проведенных исследований, можно заключить, что предоставленный порошок действительно является интерметаллидом Ni_3Al , полученным МА и тепловом взрывом. Фазовый состав порошка соответствует интерметаллиду Ni_3Al . Форма и размер частиц порошка соответствуют требованиям, предъявляемым к порошкам, используемым для СЛС.

3.2. Выбор режимов СЛС

В первой серии эксперимента по получению образцов из интерметаллида Ni_3Al с помощью СЛС, параметры СЛС задавались следующим образом – мощность лазера не менялась и составляла 250 Вт; изменяемыми параметрами были скорость линейного перемещения лазера и расстояние между треками.

В первом эксперименте при постоянном расстоянии между треками 300 мкм, менялась скорость линейного перемещения лазера в интервале от 40 до 240 мм/с. В таблице представлены параметры перемещения лазера и положительный или отрицательный результат наращивания образцов.

Таблица 2. Результат первого эксперимента

Скорость линейного перемещения лазера, мм/с	40	80	120	160	200	240
Оценка результата	–	–	+	–	–	–

Как видно на рисунке 24 а, при большой скорости сканирования (160 – 240мм/с) порошок интерметалида не взаимодействовал с материалом подложки. Из-за низкой адгезии наращивания слоев не происходит. При малой скорости сканирования (40 – 80 мм/с), при воздействии лазера на порошок, образовывались отдельные капли материала, которые отрывались и выносились ножом ракеля из зоны сканирования. Оптимальной в данном

диапазоне изменяемых параметров была скорость сканирования 120 мм/с. В этом случае произошло наращивание слоев образца (рис. 24 б). Однако образец состоял из отдельных крупных капель оплавленного материала.

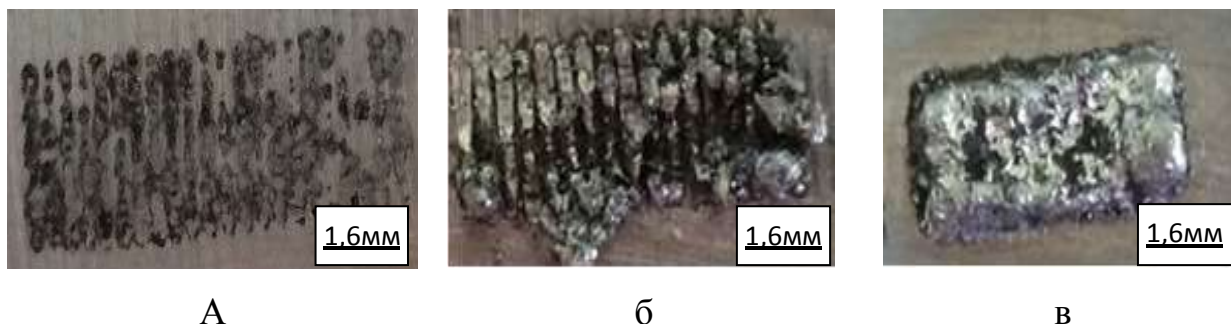


Рис. 24 Фотографии СЛС образцов из интерметаллида Ni_3Al , полученных на разных режимах: скорость линейного перемещения лазера 200 (а) и 120 (б, в) мм/с; расстояние между треками 300 мкм (а, б) и 600 мкм(в)

Чтобы снизить энергозатраты лазерного луча в оплавливаемый участок материала, было увеличено расстояние между треками с 300 мкм до 600 мкм. В этом заключался второй эксперимент. Как видно на рисунке 24 в, при скорости линейного перемещения лазера 120 мм/с сформировался цельный образец, без открытой пористости и отдельных капель материала.

Для оценки макроскопических дефектов (пор и трещин) в образце была проведена компьютерная томография.

Определено, что в образце отсутствует пористость, но присутствуют термические трещины (рис. 25). Значительное количество трещин исключает использование данных технологических режимов СЛС для получения изделий и требует поиска других режимов.

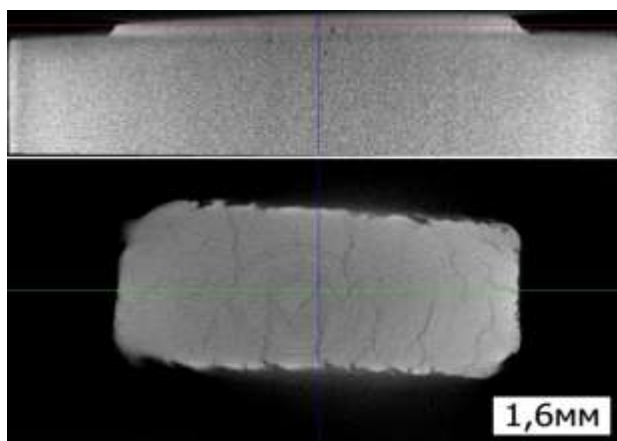
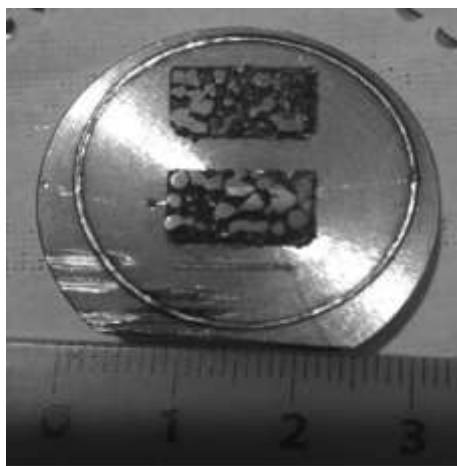


Рис. 25 Томография образца на глубине 0,2-0,3 мм от плоскости подложки

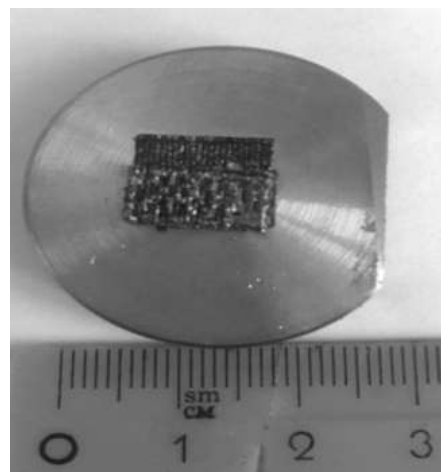
Для снижения внутренних напряжений в процессе формирования образца необходимо снизить энерговклад в зону оплавления материала, а для этого требуется снижение мощности лазера. Поэтому, во второй серии эксперимента менялась мощность лазера.

Сначала был выбран следующий режим сканирования: мощность лазерного излучения – 250 Вт, скорость линейного перемещения лазерного луча – 160 мм/с, расстояние между треками – 500 мкм.

На рисунке 26 (а) изображен образец, который сформировался на данных режимах. Полученный образец имел отдельные капли материала, что означает, что порошок не достаточно смачивался из-за быстрого перемещения лазерного луча.



а



б

Рис. 26 Фотографии СЛС образцов из интерметаллида Ni_3Al , полученных на разных режимах: мощность лазера 250 Вт и скорость линейного перемещения лазера 160 мм/с (а); мощность лазера 150 Вт и скорость линейного перемещения лазера 40 мм/с (б)

Во второй части эксперимента была снижена мощность лазера до 150 Вт и скорость линейного перемещения лазерного луча до 40 мм/с.

Как видно на рисунке 26 б, сформировался цельный образец без макродефектов на поверхности. Визуальный осмотр показал, что материал плотный, без открытых пор.

Дальнейшие исследования проводились на образце, полученном на данных режимах: мощность лазерного излучения – 150 Вт, скорость линейного перемещения лазерного луча – 40 мм/с, расстояние между треками– 500 мкм.

3.3. Исследование структуры образцов, полученных СЛС

Селективное лазерное сплавление не привело к фазовому превращению – исследуемый образец представляет собой однофазный сплав Ni_3Al (рис. 27). Как и в случае порошкового материала, значение параметра решетки почти не отличается от эталонного и составляет $a = 0,3569$ нм [45]. Размер области когерентного рассеяния и величина напряжений второго рода,

рассчитанные по уширениям рентгеновских пиков, составили соответственно 12 нм и $1,8 \cdot 10^{-3}$. Т.е. при селективном лазерном сплавлении внутренние напряжения ниже, чем, в исходном порошковом материале, что может объясняться релаксацией, происходящей при плавлении и кристаллизации материала. Однако, т.к. при СЛС скорость кристаллизации составляет $\sim 10^4$ - 10^6 °C/с, внутренние напряжения сохраняются, а формируемые при этом зерна, имеют сравнительно небольшие размеры, как и в случае высокоскоростных термообработок, например, закалки [47]. Это объясняет малую величину значений ОКР.

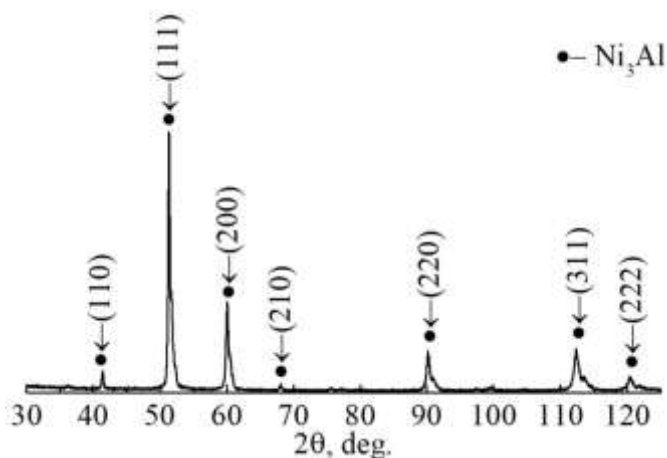


Рис. 27 Рентгеновский профиль, снятый с образца Ni_3Al , полученного СЛС.

На рентгеновском профиле СЛС-образца сплава Ni_3Al наблюдается перераспределение интенсивностей рефлексов (рис. 27). Это может свидетельствовать о формировании кристаллографической текстуры в образцах сплава, формируемых СЛС.

Данное заключение о формировании текстуры в структуре образца подтверждают результаты металлографического анализа. Это видно на фотографиях поперечного сечения образца после травления (рис. 28). Наблюдается структура, характерная для материала после полного переплава [4].

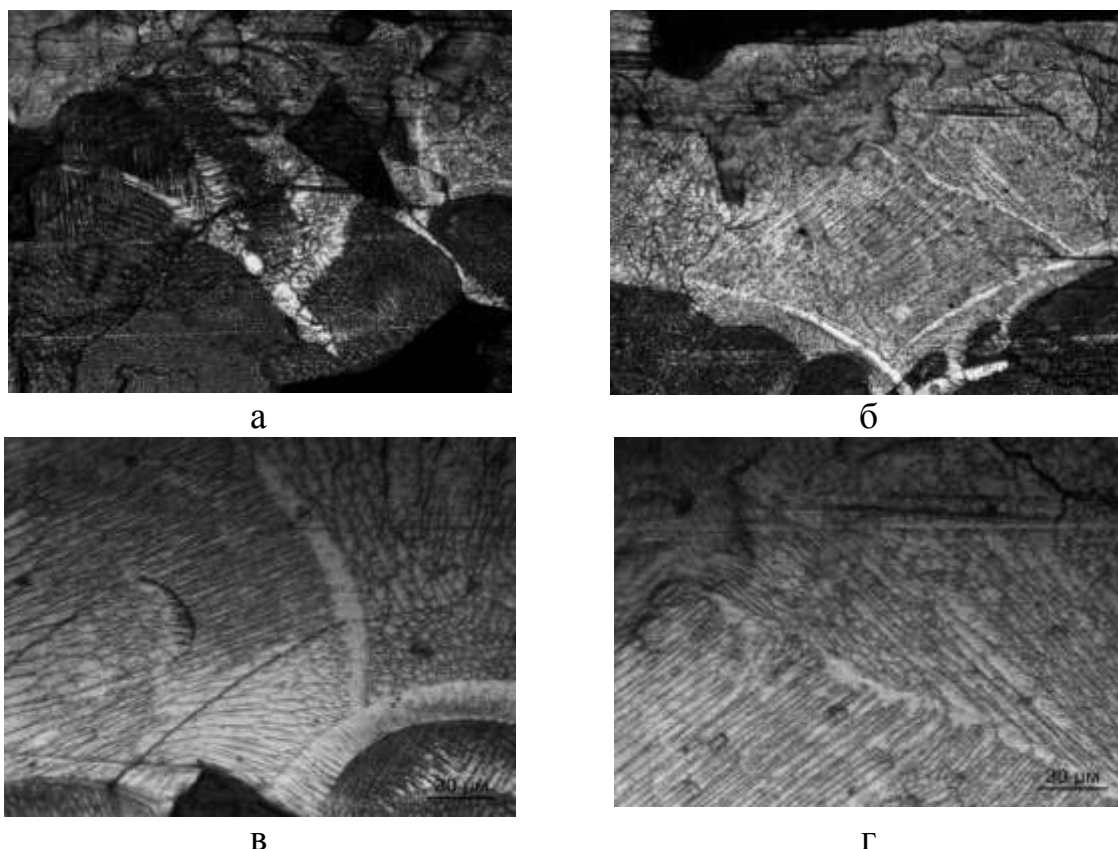


Рис. 28 Оптическое изображение микроструктуры поперечного сечения образца, полученного СЛС.

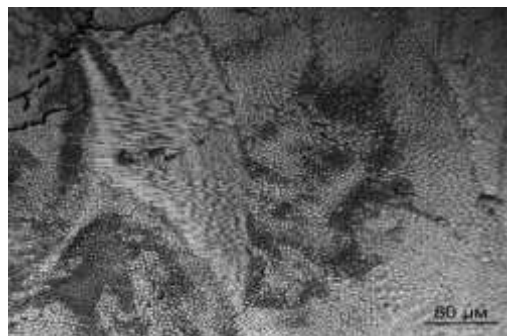
Образец имеет ячеистую структуру. Направление роста ячеек задается процессом кристаллизации от подложки вверх под углом около 45° . На некоторых участках ячейки растут вверх. На некоторых участках, где ячейки видны в сечении, их направление роста определить затруднено. В общем, наблюдается картина преобладания текстуры в направлении 45° к подложке.

При закалке Ni_3Al из жидкого состояния, описанной в работе [47], формируется иная структура. Она названа в статье дендритной и состоит из блоков ячеек расположенных под определенными углами друг к другу без заданного направления роста. Размер зерен в ячейках 7 мкм.

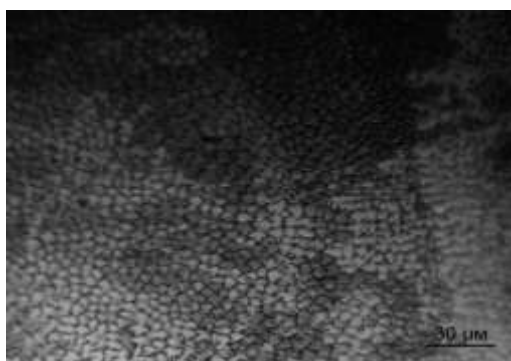
В нашем случае, как видно на фото продольного сечения образца (рис. 29), размер зерен в ячейках близок к этому размеру, но несколько меньше – 2-5 мкм. На основании сравнительного анализа размера зерна, можно сказать, что по условиям кристаллизации, СЛС близко к закалке из жидкого состояния, но протекает с большей скоростью охлаждения.



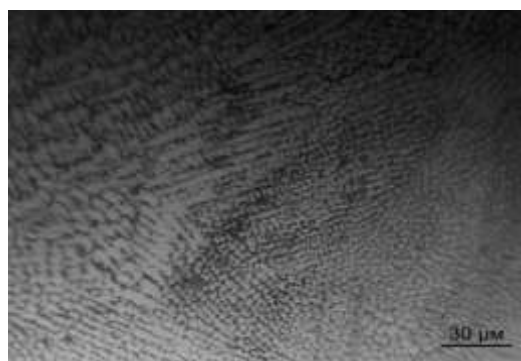
а



б



в



г

Рис. 29 Оптическое изображение микроструктуры продольного сечения образца, полученного СЛС.

Такая мелкозернистая, несколько вытянутая ячеистая микроструктура характерна для образцов из сплавов на основе интерметаллида Ni_3Al [48].

В образце наблюдаются микротрещины. И хотя низкая трещиностойкость характерна для интерметаллида Ni_3Al [45], присутствие микротрещин не благоприятно скажется на свойствах изделий.

3.4. Оценка механических свойств

Оценка механических свойств образцов, полученных СЛС производилась с помощью измерения микротвердости.

На рисунке 30 представлено оптическое изображение поперечного сечения и отпечатков микротвердости образца. На фото видно, что размеры отпечатков разные даже на участках с одинаковой структурой.

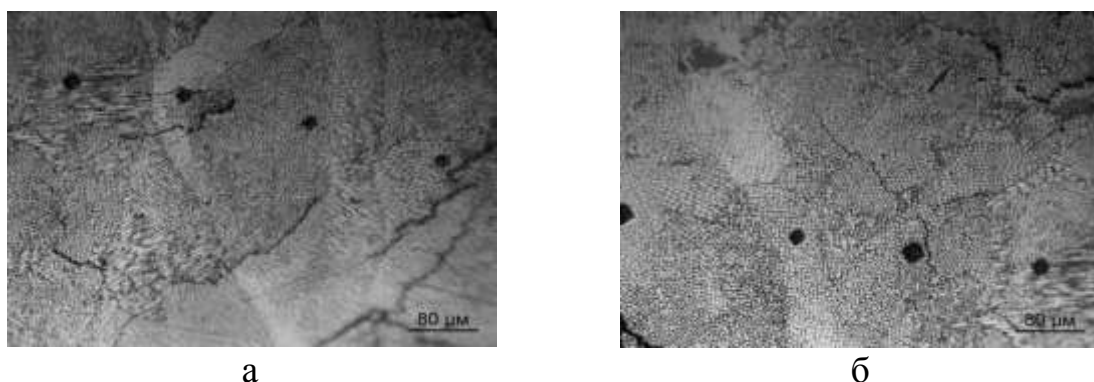


Рис. 30 Оптическое изображение поперечного сечения и отпечатков микротвердости образца, полученного СЛС.

Значения микротвердости находятся в широком интервале 2280-6130 МПа со средним значением 4130 МПа (таблица 3).

Таблица 3. Значения микротвердости на поверхности образца, полученного SLS

№	Размер отпечатка	№	Размер отпечатка	№	Размер отпечатка
1	3980	18	6130	35	3220
2	4880	19	3980	36	2540
3	4200	20	4580	37	2330
4	4730	21	5720	38	3760
5	4460	22	4730	39	2280
6	5030	23	4460	40	3140
7	3860	24	3980	41	4200
8	2490	25	3860	42	4880
9	5360	26	4200	43	5360
10	2920	27	4880	44	5030
11	2790	28	4460	45	3380

12	5190	29	4580	46	4580
13	5540	30	3980	47	4320
14	4460	31	2990	48	4080
15	4880	32	2280	49	3380
16	3980	33	3980	Среднее значение	4130
17	3760	34	4460		

После построения гистограммы распределения значений микротвердости (рис. 31) было определено, что большинство значений (65%) приходится на интервал от 3750 МПа до 5600 МПа. 25% значений находятся в интервале от 2300 МПа до 3750 МПа и оставшиеся 10 % приходятся на интервал от 5600 МПа до 6130 МПа.

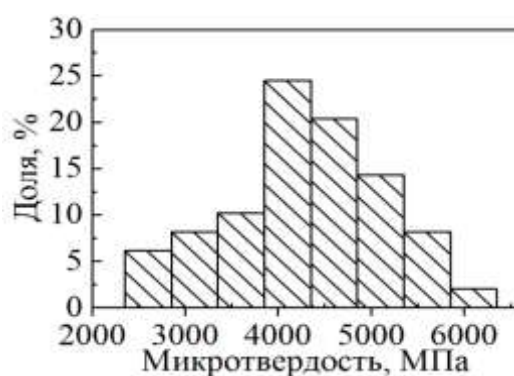


Рис. 31. Гистограмма распределения значений микротвёрдости образцов Ni_3Al , полученного СЛС.

Сравним полученные значения микротвердости с данными в работах других исследователей (таблица 4).

Таблица 4. Значения микротвердости интерметаллида Ni_3Al после различных внешних воздействий на материал

Характер внешнего воздействия на материал	Микротвердость, Мпа	Источник
Традиционным методом – электродуговой плавкой в тигле.	2900...3600	[49]
Закалка из жидкого состояния	2600	[47]
Отжиг после закалки 800-900°C	2550	[47]
Отжиг после закалки 1000°C	2500	[47]

Отжиг после закалки 1200°C	2000	[47]
МА порошка с последующим СВС и искровым плазменным спеканием.	6100	[50]
Результаты собственных исследований – МА порошка с последующим ТВ и СЛС.	2280-6130	Таблица №3

Как видно по данным работ [47, 49]. При кристаллизации в условиях близких к равновесным и при закалке из жидкого состояния формируется структура, которой характерна микротвердость не более 3600 МПа. Последующий отжиг снижает значение микротвердости до 2000 МПа. В нашем случае основное количество значений микротвердости приходится на интервал выше 4000 МПа. Это значит, что при СЛС структура формируется при большей скорости охлаждения, что приводит к формированию неравновесной структуры и более высоких значений микротвердости.

Как видно из таблицы 4, самые высокие значения микротвердости формируются при МА порошка с последующим самораспространяющимся высокотемпературным синтезом и искровым плазменным спеканием [50]. При искровом плазменном спекании в материале частично сохраняется сверхизмельченная структура порошка, что обеспечивает значение микротвердости 6100 МПа.

При получении образцов СЛС происходит полный переплав материала, однако наличие высоких значений микротвердости указывают на то, что получаемая структура или частично наследуется от структуры порошка или формируется новая с близким строением и свойствами. Полный ответ на данный вопрос требует дополнительных исследований.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ83	Мукашовой Динаре Доолотбековне

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

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 СО РАН ИФПМ (лаборатория)
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - прочие расходы – 10%. - значение показателя интегральной ресурсоэффективности - не менее 3.75 баллов из 4.2
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>	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации
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 проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Сегментирование рынка</i>
2. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
3. <i>Матрица SWOT</i>
4. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
5. <i>Потенциальные риски</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ83	Мукашова Динара Доолотбековна		

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 настоящего раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных и проектных решений на этапе реализации на тему: “Исследование строения 3Д объектов из интерметаллидных соединений, полученных селективным лазерным спеканием”. Для достижения цели данного раздела необходимо оценить перспективность и успешность научно-исследовательского проекта, полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

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. 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 5.

Таблица 5 - Карта сегментирования рынка

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

Из анализа сегментов рынка видно, что интерметаллидные изделия с крупным объемом потребления относятся к космической промышленности и авиастроению, средний объем относится к машиностроению, а мелкий объем потребления к приборостроительной отрасли. Потенциал селективного лазерного спекания огромен, ведь этот метод открывает простор для реализации самых перспективных технических и творческих идей из интерметаллидных соединений Ni_3Al .

4.3. 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 Ni-Al 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 Selective Laser Sintering (SLS). 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.

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

которым относится самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СЛС).

К интерметаллидным порошкам системы «Ni₃+Al» в настоящее время проявляется интерес, в связи с возможными преимуществами разработки материала с более улучшенными свойствами. Интерметаллидные материалы из никелида алюминия обладают магнитными свойствами. Настоящее изобретение предлагает фотокатализатор, включающий композитный материал, содержащий соединение железа, которое в больших количествах существует в земной коре и, таким образом, стабильно поставляется и имеет высокую безопасность для окружающей среды. Фотокатализатор настоящего изобретения является недорогим, имеет высокую эффективность, легко восстанавливается и используется повторно, имеет чрезвычайно низкое загрязнение окружающей среды и способен значительно снизить себестоимость.

В настоящее время для получения интерметаллидных порошков применяют вакуумное спекание прессованных смесей порошков оксида алюминия и никеля с последующим дроблением спеков. Однако с точки зрения производственных и экономических показателей это дорогой и низкопроизводительный способ. В этих отношениях предпочтительней выглядит метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерия оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
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	0,2	0,2
5. Уровень шума	0,05	3	3	0,15	0,15
6.Экологичность материала	0,10	4	3	0,4	0,4
7.Область применения покрытия	0,10	3	2	0,3	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
1.Конкурентоспособн ость продукта	0,1	4	2	0,4	0,2
2. Цена	0,05	3	3	0,4	0,45
3.Финансирование научной разработки	0,05	4	2	0,2	0,1
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, как показано в таблице 4.2 B_{ϕ} и K_{ϕ} это исследуемая моя работа, а B_{KL} и K_{KL} – это исследуемый рынок конкурентов. 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; (энергозатраты на производство партии продукта)
- цена и т.д.

4.4. SWOT-анализ

SWOT анализ (перевод с англ. swotanalysis) – один из самых эффективных инструментов в стратегическом менеджменте. Это анализ сильных и слабых сторон организации, а также возможностей и угроз со стороны внешней окружающей среды. Аббревиатуры SWOT анализа расшифровываются как: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Сильные и слабые стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа (то есть тем, на что сам объект способен повлиять); возможности и угрозы являются факторами внешней среды (то есть тем, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом). SWOT-анализ является предварительным исследовательским этапом при составлении стратегических планов, разработке стратегических целей и задач компании.

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

Но несмотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не проработана стабильная технология получения порошков, которые используются для нанесения покрытия, а также сама технология нанесения покрытия производится вручную, что вносит нестабильность в свойства получаемых покрытий.

В таблице 7 (матрица SWOT) более подробно изложены сильные и слабые стороны исследовательского проекта, а также возможности и угрозы.

Таблица 7 – 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: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е. использование научного оборудования); В2. Возможность внедрения технологии в производство; В3. Возможность участия в грантах,	С1 В2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава; С4 В2.Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия); С2 В3. участие в грантах приводят к улучшению высокой	В1 Сл4. новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака; В1 Сл1. Возможность изготовления прототипа; В3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов;

для повышения производительности изделия; В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт;	работоспособности изделия;	
Угрозы: У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой 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;	У1 С1. Возможность изменить состав для повышения конкурентоспособности сновыми предложениямина рынке. У3 С4. Появление резервных средств за счет экономии материала	У3 Сл4. длительный простой производства. У2 Сл1. Нежелание крупных предприятий сотрудничать в условиях отсутствия прототипа и оборудования массового производства

Проанализировав матрицу SWOT можно сказать, что у исследовательского проекта есть как сильные, так и слабые стороны. Улучшение свойств поверхностей изделий или получение совершенно новых композиционных изделий, обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет, а возможность модифицирования исходного состава порошков продлит этот срок еще большим количеством времени. Угрозы У1 и У2

представляются серьезными и являются объектами для внимания при выводе разработки на рынок.

4.5. Цели и результат проекта

Таблица 8 – 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

4.5.1. Организация и планирование работ

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Хронологически упорядоченные вышеуказанные данные сведены в таблицу 4.5.

Таблица 9 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Выполняемая работа	Загрузка исполнителей		
	НР	И	ИНЖ
Постановка целей и задач.	100%	-	-
Разработка календарного плана.	100%	10%	-
Подбор и изучение литературы по тематике.	20%	100%	-

Подготовка литературного обзора	15%	100%	-
Подготовка материалов	100%	20%	-
Выполнение исследовательской работы	10%	100%	80%
Анализ результатов	90%	100%	-
Оформление результатов исследования	-	100%	-
Подведение итогов	60%	100%	-

НР(научный руководитель) – Ковалевская Жанна Геннадьевна

И(исследователь) – Мукашова Динара Доолотбековна

ИНЖ(инженер-технолог) – Криницин Максим Германович

4.5.2. Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами: технико-экономическим; – опытно-статистическим.– Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Поскольку, соответствующие нормативы не имеются, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами: аналоговый;– экспертный.– Аналоговый способ привлекает внешней простотой и около нулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исследователя не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы). Экспертный способ используется при

отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения 54 вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется формула.

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + t_{max}}{K_{вн}}$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 6 работ требуются специалисты:

- исследователь – в его роли действует исполнитель НИР;–
- научный руководитель;
- инженер-технолог - сотрудник, обеспечивающий работу-оборудования.

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:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} K_{д}$$

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

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

$K_{д}$ - коэффициент, учитывающий дополнительное время на– $K_{д}$ компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1–1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель). Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{рд} T_{к}$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}$$

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

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

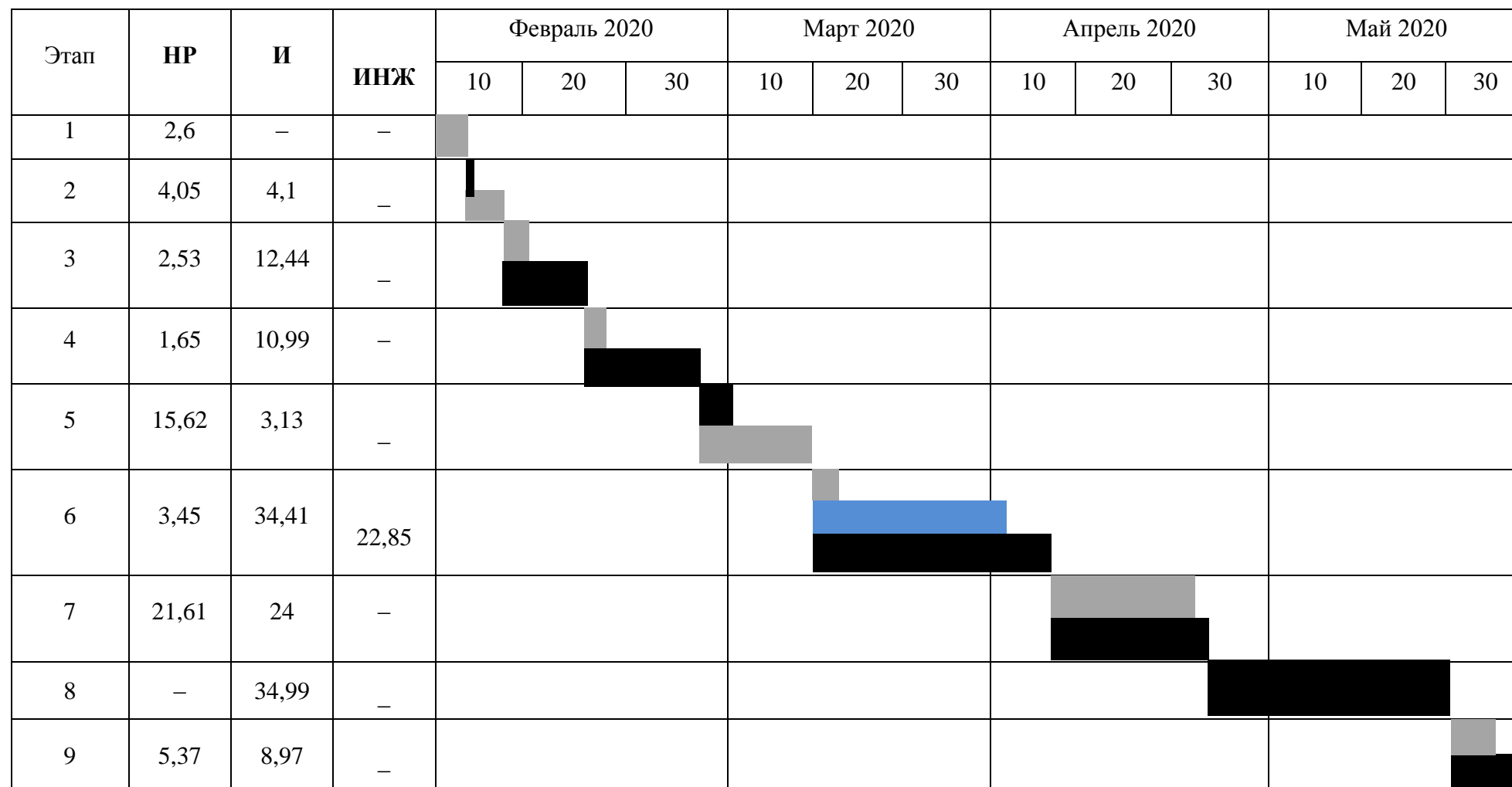
$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 9 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (2). Столбцы 6, 7 и 8 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из трех участников проекта (научный руководитель, исследователь, и инженер-технолог) по формуле(3) с учетом коэффициента КД = 1,2. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} \cdot \text{КД}$. Столбцы 9, 10 и 11 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях по формуле(4) путем дополнительного умножения на ТК (здесь оно равно 1,205). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 9, 10 и 11 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Три последние величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД (данные столбцов (9, 10 и 11 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта, показанный в таблице 10

Таблица 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 11 - Диаграмма Ганта



НР –



И –



ИНЖ –



4.5.3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

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;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.5.4. Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 35 000 руб. включительно. 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 12.

Таблица 12 - Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Марка	Кол-во	Цена за ед., Руб.	Сумма, руб.
Порошок никеля	ПНК-УТЗ	1 кг.	От 2200	2200

Порошок алюминия	ПА-4	1 кг	545	545
Круг шлифовальный	Bosch	1 уп.	1000	1000
Шлифовальная паста	3M	3 шт.	2000	6000
Суспензия	Helling	3 уп.	750	2250
Кислота. Травитель	H ₂ SO ₄ – 20%; HNO ₃ – 60% и HCl – 20 %.	1000 мл.	≈300 Цена на рынке свободная	≈300
Всего за материалы				12295
Транспортно- заготовительные расходы (3-5%)				805
Итого				13100

4.5.5. 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;

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

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

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 13

Таблица 13 – Расчет амортизационных расходов

№	Наименование оборудования	Ц, руб	F _{сс} , год	F _ф , ч	З _{об} , руб.
1	SLS установка «ЛУЧ»	750000	25	3	1,5
2	Планетарная шаровая мельница АГО-2 производства РФ	658050	25	3	13,161
3	Вытяжной шкаф	26230	5	20	17,48
4	Полировальный станок «Saphir 520»	95000	10	10	15
5	Микроскоп «Axiovert 200 mat»	34795	10	1	0,6
6	Компьютер	35000	5	10	12,6
Итого:					60,341

4.5.6. 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:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}$$

(4.6)

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

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 5,748$ 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.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t,$$

(4.7)

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к

$T_{рд}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

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

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

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

Таблица 14 - Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\Sigma_{об}$, руб.
SLS установка «ЛУЧ»	9,8	1,5	84,5
Планетарная шаровая мельница АГО-2 производства РФ	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

4.5.7. Расчет заработной платы

Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом.

Для инженера 0,5 ставки по тарифу зарплата составляет $Q_{\text{инж}}=1702,14$ руб/мес, для руководителя (0,5 ставки) $Q_{\text{рук}}=2178,9$ руб/мес.

Основная заработная плата руководителя (профессора) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{ра}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} M}{F_{\text{д}}}$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. Действительный годовой фонд времени одного рабочего составляет 1790 ч при 307 рабочих днях в году и 40-часовой рабочей неделе.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{р}}$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$K_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$K_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5 (в ТПУ – надбавка по статье «причисление к объектам культурного

наследия» 30-50% от $Z_{тс}$ в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20% от $Z_{тс}$;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3

Таблица 15 - Расчет заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	2178,9	0,3	0,2	1,3	33664	635,169	47	27852,943
ИНЖ	1702,14	0,3	0,2	1,3	26298	496,188	23	11412,324
Итого:								39256,27

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.

4.6. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб.} = k_{внеб.} (Z_{осн} + Z_{доп})$$

где $k_{внеб.}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 0,13 (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{внеб.} = 39256,27 * 0,32 = 12562 \text{ руб.}$$

4.6.1. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые отнесены непосредственно на конкретную тему.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл.}} = k_{\text{накл.}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 0,8.

$$C_{\text{накл.}} = 39256,27 * 0,8 = 31405,016 \text{ руб.}$$

В таблице 16 приведены стоимость материальных затрат.

Таблица 16 – Канцелярские принадлежности

Наименование	Марка	Кол-во, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.	
Бумага	«Снегурочка», А4, 500 листов	2	224	448	
Шариковая ручка	«Erich Krause» синяя	2	30	60	
Карандаш	«Конструктор» твердый	2	9	18	
Ластик	«Erich Krause»	1	55	55	
Папка	«Erich Krause», красная	1	12	12	
Нерасходные материалы					
Наименование	Марка	Кол-во, шт.	кВтч	Время работы, ч	Сумма, руб.
Компьютер	«HP»	1	0,14	700	563,3
Монитор	BenQ	2	0,1	700	804,6
Принтер	«HP LaserJet»	1	0,03	1	0,17244

Интернет	TPUNet	1	300		1500
Итого за материалы					593
Итого					3463,77

4.6.2. Расчет общей себестоимости затрат разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Исследование строения 3Д объектов из интерметаллидных соединений, полученных селективным лазерным спеканием».

Таблица 17 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Затраты, руб.
Затраты на материалы	13100
Затраты на электроэнергию	1435,15
Заработная плата	277396,46
Отчисления на социальные нужды	5103,31
Накладные расходы	31405,016
Итого:	57255,19

Таким образом, общая себестоимость НИР равняется = **57255,19** руб.

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).

Таблица 18 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	68706	68706	62706	68706
2	Итого приток, руб.	0	68706	68706	68706	68706
3	Инвестиционные издержки, руб.	-57255	0	0	0	0
4	Операционные	0	17176	17176	17176	17176

	затраты, руб.					
5	Налогооблагаемая прибыль	0	51530	51530	51530	51530
6	Налоги 20 %, руб.	0	10306	10306	10306	10306
7	Итого отток, руб.	-57255	58400	58400	58400	58400
8	Чистая прибыль, руб.	0	41224	41224	41224	41224
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-57255	98479	98479	98479	98479
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,833333	0,694444	0,578704	0,482253
11	Чистый дисконтированный доход (ЧДД), руб.	-57255	82065	68388	56990	47491
12	Σ ЧДД	254934				
12	Итого NPV, млн руб.	197679				

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 197679 млн. 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.

$$PI=254934/57255=4,45$$

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.

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

Между чистой текущей стоимостью (**NPV**) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 19 и на рисунке 4.1.

Таблица 19 - Зависимость **NPV** от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, млн. руб.
1	Чистые денежные потоки, млн. руб.	-57255	98479	98479	98479	98479	
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	-57255	89517	81343	73971	67273	254849
	0,2	-57255	82033	68344	56931	47475	197528
	0,3	-57255	75730	58299	44816	34473	156063
	0,4	-57255	70314	50224	35852	25609	124744
	0,5	-57255	65685	43724	29056	19502	100712
	0,6	-57255	61549	38406	24033	15070	81803
	0,7	-57225	57905	32990	19994	11031	64665
	0,8	-57225	54754	30430	16842	9357	54128
	0,9	-57255	51799	27278	14380	7584	43786
	1,0	-57255	49239	24619	12312	6106	35021

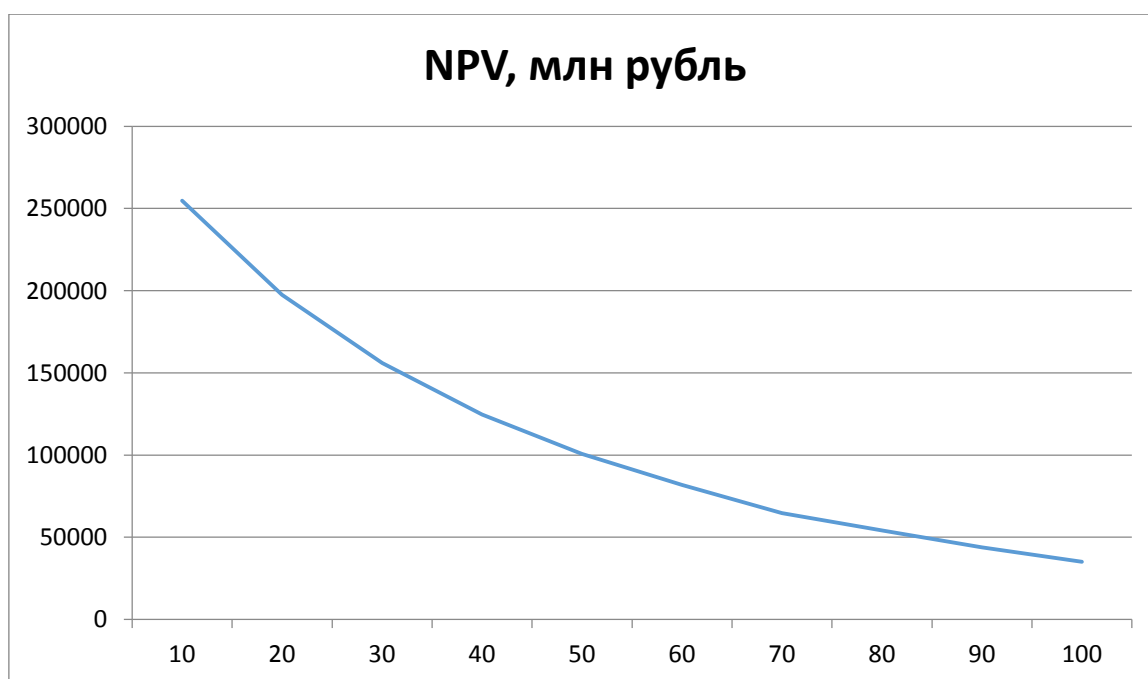


Рисунок 20 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

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 87%.

Запас экономической прочности проекта: $87\%-20\%=67\%$

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 21).

Таблица 21 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный денежный доход ($i=0,20$), млн. руб.	-57255	82065	68388	56990	47491
2	То же нарастающим итогом, млн. руб.	-57255	24810	93198	150188	197679
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + (24810/68388) = 1,3 \text{ года}$				

Социальная эффективность научного проекта (таблица 22) учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения 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 22 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Превышение мелких частиц интерметаллидных порошков в воздухе	Улучшение вентиляционной системы, вакуумизирование рабочей зоны, активация порошка
Невозможность наблюдения и предсказания техногенных нарушений	Усовершенствование в использовании ПО, преждевременное определение изменений

4.7.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Для определения эффективности исследования проведем сравнение методов спекания: метод СВС и метод печного синтеза. 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 как:

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

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – 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 удешевление стоимости разработки в размах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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
рекомендуется проводить в форме таблицы

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1(метод СЛС)	Исп. 2 (печным синтезом)
Удовлетворяет потребности потребителя	0.2	5	4
Энергосбережение	0.25	4	3
Надежность	0.3	4	4
Материалоемкость	0.25	4	4
Итого:	1		
I_{pi}		4,2	3.75

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

Сравнительная эффективность указаны в таблице 23.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

№ п/п	Показатели	Исп. 1 (СЛС)	Исп. 2 (ГП)
1	Интегральный финансовый показатель	1,0	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,2	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	4,2	3,82

4	Сравнительная эффективность проекта относительно исп. 1	1,0	0,9
---	---	-----	-----

Представленные в таблице 24 расчеты показывают, что наиболее эффективным вариантом проектного решения является метод СЛС, который и был задействован в НИР.

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.

Описан целевой рынок, то есть кто является конечным потребителем продукта или, кто может стать им в будущем. После анализа целевого рынка составлена карта сегментирования для композиционных порошков, в зависимости от двух критериев: отрасль промышленности и объем потребления.

При анализе конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения изготовления композиционных порошковых материалов методом СЛС и методом вакуумного спекания, можно сделать вывод, что метод СЛС имеет преимущество перед методом вакуумного спекания, т.к. позволяет получить увеличение производительности при значительно более низких затратах.

На основе метода SWOT – анализа можно сказать, что улучшение свойств поверхностей изделий или получение совершенно новых композиционных изделий, обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет. Но существуют угрозы в виде возможности появления более высокооплачиваемых предложений на рынке и отсутствия оборудования для массового производства, что требуют серьезного внимания и рассмотрения.

Рационально спланирована занятость каждого из участников и сроки проведения отдельных работ для организации процесса реализации исследовательской работы. Опытно-статистическим методом были определены продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Вычислены полные денежные затраты на исследовательскую работу. В состав затрат на создание проекта включались величины всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание исследования. В итоге, общая себестоимость НИР по всем статьям затрат 57255,19 руб.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ83	Мукашовой Динаре Доолотбековне

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение и технология материалов
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Аддитивные технологии

Тема ВКР:

Исследование строения 3Д - объектов из интерметаллидных соединений полученных селективным лазерным сплавлением

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	<p><i>Объектом исследования являются композиционные порошки системы Ni_3+Al полученных в результате СЛС и механической активацией порошка</i></p> <p><i>Лазерный 3Д принтер "Луч" со следующими характеристиками: скорость сканирования мощность лазерного излучения – 150 Вт, скорость линейного перемещения лазерного луча – 40 мм/с, расстояние между треками – 500 мкм. Толщина наносимого слоя 100мкм.</i></p> <p><i>Исследованы характеристики синтезированных порошков Ni_3+Al (морфология, микроструктура и фазовый состав, и т.п.). Исследование проводились на базе лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов ИФПМ СО РАН. Область применения: порошковая металлургия.</i></p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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.
<p>2. Производственная безопасность:</p>	<p><i>1.Вредные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Освещение рабочей зоны -Микроклимат в помещении -Зрительное напряжение -Степень нервно-эмоционального напряжения;; -Шум. <p><i>2.Опасные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Электрический ток; -Короткое замыкание -Статическое электричество
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – 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. утилизация ТБО, оргтехники, макулатуры, люминесцентных ламп.
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	02.03.2020
--	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ83	Мукашова Динара Доолотбековна		

5. Социальная ответственность

5.1. Введение

В настоящем разделе магистерской диссертации проведен анализ рабочей среды, оценка рисков и факторов безопасности при выполнении научно-исследовательских работ по заданной теме.

Порошковая металлургия, наряду с другими наукоемкими и энергосберегающими отраслями промышленности, является одним из основных направлений развития современного, высокоэффективного производства технологически развитых стран мирового сообщества.

Актуальность проекта заключается в том, что использование принципов порошковой металлургии при изготовлении интерметаллидных материалов позволяет значительно уменьшить энергетические затраты и расход материалов. В социальном аспекте порошковая металлургия способствует снижению загрязнения окружающей среды газами, вредными выбросами и шлаками, т. е. обеспечивает большую экологическую чистоту производства.

В данной диссертационной работе были изучены свойства и возможности композитных порошковых материалов на основе Ni_3Al , полученных в результате самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и алюмотермии.

5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При организации рабочих мест учитывается то, что конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение его элементов соответствуют антропометрическим, физиологическим и психофизиологическим данным человека. Также не создают угрозы здоровью человека и выполняемой при минимальной затрате биологических ресурсов. Лаборатория на 3 этаже здания, помещение

представляет собой комнату размером 8м на 6м. В лаборатории находится 5 рабочих мест, при этом они расположены так, что обеспечивают безопасный доступ на рабочее место и возможность быстрой эвакуации в случае опасности. Режим рабочего времени зависит от объема работы (с 10 до 18).

Защита персональных данных работника относится к частной жизни гражданина, которая является конституционным правом каждого. Для этого существует Указ Президента РФ от 6.03.1997 г. за № 188, в котором сказано, что персональные сведения носят конфиденциальный характер, а значит должны оставаться не доступными для общественности (ТК РФ от 01.06.2016 N197-ФЗ [1]).

Компенсации за вредные условия труда осуществляется по ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ [2].

Основные принципы организации работы по охране труда, структуру и функции органов управления охраной труда, обязанности и ответственность федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН) устанавливается положением об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН. Организация работ по охране труда в ИФПМ СО РАН возлагается на работников отдела охраны труда и техники безопасности, пожарной безопасности, гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ОТ и ТБ, ПБ, ГО и ЧС)[3].

5.2.1. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

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 соответствует требованиям ГОСТ 12.1.007-76.

- конструкцией рабочего места обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля;
- конструкцией производственного оборудования и рабочего места обеспечено оптимальное положение работающего.

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.

Таблица 25 - 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 отсутствие естественного света	+	+		СНиП 23 – 05 –95. Нормы 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
6.Психофизические факторы				ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

5.3.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.3.2. Анализ показателей микроклимата

Микроклимат это комплекс метеорологических условий в помещении: температура, относительная влажность, воздухообмен, скорость движения воздуха, содержание в воздухе твердых частиц (пыли), наличие приятных запахов (ароматерапия) и др. Оптимальными для микроклимата жилых и общественных помещений в теплое 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.

Нормы для параметров микроклимата установлены санитарными правилами и нормами СанПин 2.2.4.548-96. Нормированные значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений приведены в таблице 26.

Таблица 26. Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

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.

Параметры микроклимата в лаборатории:

– Для холодного и переходного сезонов. Температура поддерживается на значении 18-23 °С, относительная влажность составляет от 40 до 60%, скорость движения воздуха не превышает 0,1 м/с.

– Для теплого сезона. Температура составляет от 21 до 25 °С, остальные параметры остаются аналогичными. Здесь обычно предусматриваются системы водяного отопления. Вода в них прогревается до 95 °С.

Роль нагревательных приборов здесь играют радиаторы из чугуна, имеющие гладкую поверхность. В этом случае возможна лёгкая очистка изделий. Размещаются они под окнами, исключением являются угловые помещения. Вне зависимости от типа вентиляции в помещении установлено следующее оборудование:

- Просто откидывающиеся фрамуги или форточки.
- Вытяжные шкафы с механическим побуждением.

- Местные пылесосы, которые устанавливаются в местах с её повышенным образованием.

- Вытяжные зонты. Располагаются над печами, если таковые имеются, над газовыми плитами и другими нагревательными приборами.

Устройства, которые осуществляют удаление загрязненного воздуха, пыли порошковых материалов, а также других металлов, оборудованы соответствующими фильтрами. Это позволит исключить загрязнение атмосферного воздуха. В основных помещениях лабораторий обязательно предусматривается кондиционирование. Помещение, в котором производились работы, имеет параметры: длина 8 м, ширина 6 м, высота 3,20 м, общая площадь 48 м², общий объем 153,6 м³. Одновременно в лаборатории может работать до 5 человек.

Определяем кратность воздухообмена при естественной вентиляции по формуле:

$$K = \frac{A * B * C}{V}$$

где А – площадь вентиляционного отверстия (форточка), м²;

В - скорость движения воздуха в вентиляционном отверстии, м/с;

С - время проветривания, сек.;

V - объем помещения, м³;

Соответственно кратность воздухообмена составит:

$$K = \frac{1,8 * 0,1 * 30 * 60}{153,6} = 2,1 \text{ раза}$$

Рассчитываем необходимый объем вентиляции по формуле:

$$L = \frac{n * N}{P_1 - P_2}$$

где L - объем вентиляции, м³;

n – количество СО₂, выдыхаемое человеком в час (22,6 л);

N – число рабочих в данном помещении;

P₁- максимально допустимое содержание СО₂ в помещении (1 л/м³);

P₂- содержание СО₂ в атмосферном воздухе (0.4 л/м).

$$L = \frac{22,6 * 5}{1 - 0,4} = 188,3$$

Сравниваем нормированное и фактическое значения кратности воздухообмена. Для этого находим соотношение между объемами вентиляции и помещения.

$$K = \frac{188,3}{153,6} = 1,23$$

Как видно фактическая кратность воздухообмена выше необходимой, следовательно, исследуемое помещение проветривается в достаточном количестве.

5.3.3. Анализ показателей шума

Шум является одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов. Люди, работающие в условиях повышенного шума, жалуются на быструю утомляемость, головную боль, бессонницу. Настоящий стандарт распространяется на машины, технологическое оборудование и другие источники шума, которые создают в воздушной среде все виды шумов по ГОСТ 12.1.003-83.

Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в дБ, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Допустимые уровни звукового давления и уровня звука на рабочих местах.

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Уровн и звука, дБ
	63	125	250	1000	2000	4000	8000	
Лаборатория для проведения экспериментальных работ.	94	87	82	75	73	71	70	80

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

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Средства индивидуальной защиты органов слуха работающих установлены: это противошумные шлемофоны (шлемы), наушники, заглушки, вкладыши.

Наша лаборатория соответствует по вышеуказанным параметрам.

5.3.4. Анализ освещенности рабочей зоны

К современному освещению предъявляются высокие требования как гигиенического, так и технико-экономического характера. Существует три вида освещения – естественное, искусственное и комбинированное.

Требования к естественному освещению:

1) Коэффициент естественного освещения для производственных помещений со зрительно напряженными работами составлено в соответствии со СП 52.13330.2016:

- 0,035 (3,5%) - при одном боковом освещении для наивысшей точности;
- 0,025 (2,5%) - при одном боковом освещении для работ высокой точности;
- 0,020 (2%) - при боковом освещении для работ высокой точности.

2) Световые проемы производственных помещений ориентированы на север, предусмотрены солнцезащитные приспособления (жалюзи, козырьки, экраны, шторы, матовая окраска стекол и так далее), устраняющие слепящее действие солнечного света на рабочих местах.

Требования к искусственному освещению:

1) Освещенность рабочей поверхности при комбинированном (общем и местном) освещении соответствует нормам. Освещенность рабочих мест светильниками общего освещения в системе комбинированного составляет 270 лк.

2) Освещенность рабочих мест в производственных помещениях без естественного освещения соответствует СП 52.13330.2016: не менее 300 лк - для работы I и II разряда;

В лаборатории для работы над дипломным проектом используется комбинированный вид освещения. Рабочее место соответствует норме.

5.3.5. Психофизические вредные факторы

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические.

К психофизическим факторам можно отнести шумовое воздействие, монотонность работы, умственное перенапряжение и т.п. При обработке данных оператор выполняет монотонную работу,

полученных за работой на установке лазерного принтера или на компьютере вовремя управления программой, которое может вызвать возникновение нервных расстройств или переутомляемость.

Мероприятия по устранению психофизиологических опасных и вредных производственных факторов. Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на ПК – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. Уменьшение плотности рабочего времени, наличие простоев на протяжении рабочего дня не только не отдалают наступление и развитие утомления, но могут ускорить и углубить его. Исключение случайно возникающих перебоев в работе, ритмизация трудовых процессов являются важными условиями поддержания высокого уровня работоспособности. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха.

В сменном режиме труда и отдыха должно быть предусмотрено физиологически и психологически обоснованное чередование работы на компьютере и перерывов для отдыха и приема пищи.

Перерывы различаются по своему значению и продолжительности. В середине рабочего дня назначается обеденный перерыв, продолжительность которого должна составлять 1 час. Расположение дополнительных перерывов на протяжении рабочего дня, их количество и продолжительность определяются на основании физиологического и психологического изучения динамики работоспособности.

5.3.6 Анализ электробезопасности

Опасность поражения электрическим током зависит от таких факторов, как сырость, жара, едкие пары и газы, токопроводящая пыль. При наличии данных факторов возникает возможность перехода напряжения на нетоковедущие части электрооборудования (корпуса,

станины, кожаных), с которыми работающий находится в контакте. В таких условиях также понижается электрическое сопротивление тела человека, дополнительно увеличивая опасность поражения током.

Помещение, в котором проводились исследовательские работы принадлежит к первой категории. В ПУЭ говорится, что это помещения, в которых нет условий для возникновения повышенной или особой опасности.

Согласно ПУЭ в помещении:

- Влажность воздуха не превышать 75%.
- Имеется работающая приточно-вытяжная вентиляция. В помещении не имеется токопроводящей пыли и химических соединений в воздухе.
- Температура окружающего воздуха не превышает +35°C.
- Покрытие пола выполнено из материалов не проводящих электричество.

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

Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. Помещение лаборатории можно отнести к первой ступени огнестойкости. Предусмотренные средства пожаротушения на пожарном щите, такие как: огнетушитель, багор, ведро, ящик с песком, штыковая лопата, совковая лопата, вода в цилиндре емкостью 100 - 200л.

5.4. Экологическая безопасность

Любое предприятие, осуществляющее свою деятельность в сфере создания материальных благ, в процессе работы наносит тот или иной вред окружающей среде. Это производственные отходы, которые необходимо утилизировать, вредные газы, выделяемые при осуществлении технологического процесса, сточные воды. Основными факторами, обуславливающим необходимость обращения особого внимания вопросам охраны окружающей среды, являются следующие:

- токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов применяемых в производстве;
- взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов; 86
- слив кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации;
- пыль на рабочем месте. В настоящее время на первый план выдвигаются задачи борьбы с загрязнением атмосферы, так как от их решения в значительной мере зависит здоровье людей. Охрана атмосферы включает в себя:
 - уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
 - сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;
 - сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;
 - утилизация отходов вредных производств. В настоящее время нет какого-либо кардинального способа позволяющего решить проблему загрязнения атмосферы. Однако существует, ряд мер, которые в комплексе позволяют существенно снизить степень загрязнения воздуха.

Основными мерами, которые необходимо предусмотреть при проектировании и строительстве новых реконструкций и расширение действующих производств являются совершенствование их технологии, обеспечивающей сокращение выбросов и оснащение их современным оборудованием и пылеуловительной аппаратурой по очистке газов, дымовых и вентиляционных выбросов. Важнейшим направлением уменьшения выбросов и экономии капитальных затрат является максимально возможная утилизация тепла в промышленности. Совершенствование техники газоочистителей повышает степень очистки выбросов. Для обезвреживания выделяемых производствами органических растворителей применяются адсорбционные методы, которые 87 наряду с полным извлечением примесей из газов обеспечивают и их рекуперацию. В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры. Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а так же средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится. Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце рабочего дня они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д).

5.4.1. Экологическая безопасность на рабочей зоне

Помещение, где проводилась работа, находится в ИФПМ СО РАН, рядом находятся другие научно-исследовательские корпуса. Расстояние до ближайшего жилого дома составляет около 500 м.

Защита атмосферы

Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются соединения азота (NO_x , NH_3) и твердые частицы – аэрозоли. Для защиты атмосферы от негативного антропогенного воздействия используются следующие основные меры:

- Экологизация технологических процессов
- Очистка технологических газовых выбросов от вредных примесей
- Рассеивание газовых выбросов в атмосфере
- Устройство санитарно-защитных зон, архитектурно-планировочные решения.

Защита гидросферы

Основными источниками загрязнения гидросферы является изменения физических и органолептических свойств, увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода, появлении радиоактивных элементов и других загрязнителей.

Защита литосферы

Основные значимые составляющие литосферы: почвы, горные породы и их массивы, недра.

Утилизация ТБО

После сбора отходы подвергаются переработке, утилизации и захоронению. Перерабатываются такие отходы, которые могут быть полезны.

Для утилизации металлических порошков применяются спекания частиц и сжижения качества порошков: увеличение степени агломерации частиц, укрупнение их размеров.

Концентрации химических реактивов, используемых в лаборатории, не превышают предельно допустимых концентраций в воздухе. В соответствии с санитарными нормами при работе с водным аммиаком загрязнение окружающей среды не представляет опасности для здоровья людей. Полученные отходы полностью утилизируются.

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.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (землетрясение, наводнение, пожары, химическое либо радиоактивное заражение и т.п.) должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;
- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений (ГОСТ Р 22.0.01-2016, ГОСТ 12.1.002-84).

Очень важно обеспечить общественный порядок, что даст возможность свободному прибытию формирований гражданской обороны (ГО) к месту аварий. Формирования охраны общественного порядка должны приступить к работе в первую очередь.

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

Используемый технологический процесс в условиях ИФПМ СО РАН относится к категории В1, так как используются горючие вещества. В данном случае источником зажигания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

В1 – В4 Пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.	
Примечание. Разделение помещений на категории В1 — В4 регламентируется положениями, изложенными ниже.		
Категори я помещения	Удельная пожарная нагрузка g на участке, МДж·м⁻²	Способ размещения
В1	Более 2200	Не нормируется

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ, ГОСТ 12.1.033-81): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

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

- составление планов эвакуации;
- назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;

– ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации (рисунок 32), который должен висеть на видном месте.

5.6. 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.

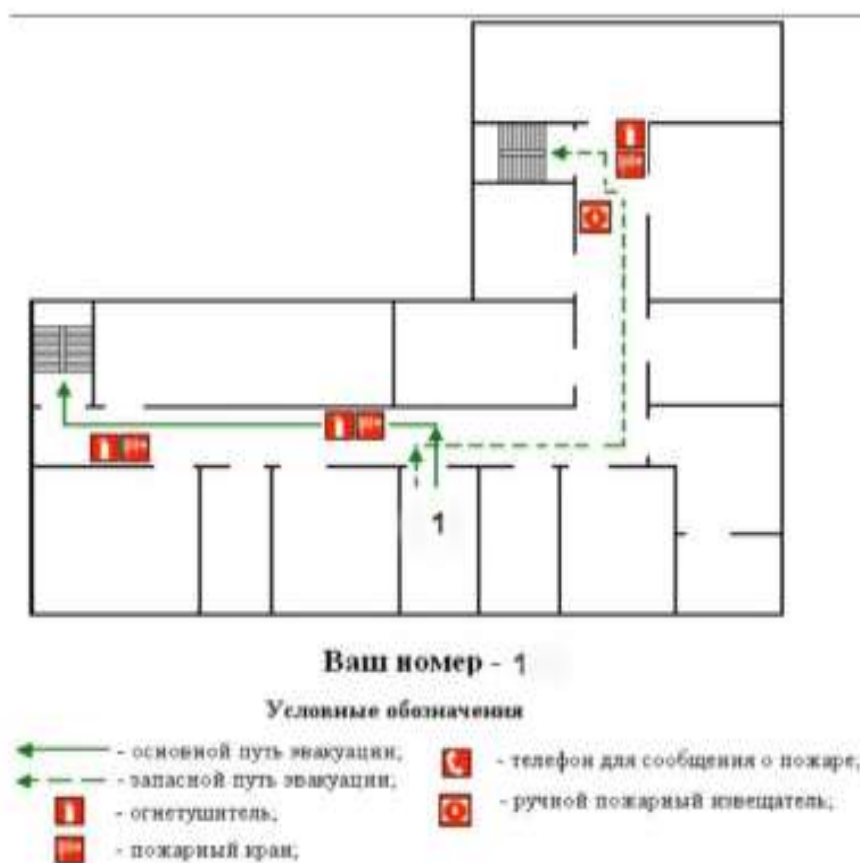


Рис. 32 – План эвакуации

Заключение по разделу

После изучения вышеуказанных объектов, норм и требований, можно сделать вывод о соответствии нашего рабочего места в исследовательской лаборатории предписаниям НТД. На каждом этапе работы требовалось тщательный контроль техники безопасности. Например при работе на установке в центре аддитивных технологий, среда для спекания порошка, обязательный пункт запуска аргона. Или же при проведении механической активации порошка нужно охлаждать рабочую среду водой во избежание нагрева. При соблюдении мер предосторожности можно избежать ЧС на рабочем месте. Из этого следует, что раздел социальная ответственность диссертационной работы имеет немало важную роль при разработке научного проекта.

Основные результаты и выводы по исследовательской работе

1. Исследован гранулометрический состав и морфология порошка, полученного механоактивацией и самораспространяющимся синтезом из компонентов Ni и Al. Фазовый состав порошка соответствует интерметаллиду Ni_3Al . Частицы имеют овальную чешуйчатую форму с размером от 15 до 250 мкм.
2. После предварительного отсева нужной фракции форма и размер частиц порошка соответствуют требованиям, предъявляемым к порошкам, используемым для селективного лазерного сплавления.
3. Формирование компактного материала из Ni_3Al в процессе селективного лазерного сплавления происходит на следующем режиме сканирования: мощность лазерного излучения – 150 Вт, скорость линейного перемещения лазерного луча – 40 мм/с, расстояние между треками – 500 мкм.
4. После селективного лазерного сплавления образец представляет собой однофазный материал Ni_3Al . Структура ячеистая, с поперечным размером зерен 2-5 мкм, что меньше зерен структуры, полученной в условиях закалки из жидкого состояния. В образце формируется текстура в основном в направлении 45° к подложке.
5. Микротвердость образцов имеет большой интервал значений – 2280–6130 МПа, что указывает на возможность формирования материала в разных условиях охлаждения.

Список используемой литературы

1. Карпова Т. Будущее здесь и сейчас. Дорогу осилит идущий // Аддитивные технологии – 2020. – № 1. – С. 5-9.
2. Murr L.E. A metallographic review of 3D printing/additive manufacturing of metal and alloy products and components // Metallography, microstructure and analysis – 2018. – №7. – 103-132 pp.
3. Wohlers T., Caffrey T. Additive manufacturing. The state of the industry // Manufacturing engineering magazine – 2016. – № 5. – 45-52 pp.
4. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. М.: ФИЗМАТЛИТ, – 2009. – 424 с.
5. Евгенов А.Г., Базылева О.А., Королев В.А., Аргинбаева Э.Г. Перспективы применения сплава на основе интерметаллида Ni_3Al типа ВКНА-4УР в аддитивных технологиях// Авиационные материалы и технологии. – 2016. – №S1(4). – С. 31-35.
6. Гринберг Б.А., Иванов М.А. Интерметаллиды Ni_3Al и $TiAl$: микроструктура, деформационное поведение. Екатеринбург: УрО РАН, – 2002. – 360 с.
7. Kumar K. G., Sivarao, SahayaAnand T. J. A Novel intermetallic nickel aluminide (Ni_3Al) as an alternative automotive body material international // Journal of Engineering and Technology – 2011. – V. 11. – № 1. – 208-215 pp.
8. Jozwik P., Polkowski W., Bojar Z. Applications of Ni_3Al based intermetallic alloys – Current Stage and Potential Perceptivities // Materials – 2015. – V. 8. – 2537-2568 pp.
9. Korchagin M.A., Dudina D.V. Application of Self-Propagating High-Temperature Synthesis and Mechanical Activation for Obtaining Nanocomposites // Combustion, explosion, and shock waves – 2007. – V. 43. – №. 2. – 176-187 pp.

10. Вальтер А.В. Технологии аддитивного формообразования: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, - 2013. – 174 с.
11. Selective Laser Sintering - технология 3D-печати / 3D оборудования для профессионалов.
http://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/sls-tech/.
12. Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C., Production methods and applications for high-quality metal powders and spray formed products. Produktions method and Anwendungen fur qualitative hochwertige Metallpulver und spruhkompaktierte Halbzeuge. Stahl und Eisen. – 2005. – 31p.
13. Tsantrizos P. G. et. al. Method of production of metal and ceramic powders by plasma atomization. Pat. US № 5707419, дата выдачи: 13 янв. 1998.
14. Компания Raymor. Интернет-сайт компании Raymor. URL: www.raymor.com.
15. 3D-технологии. Блог iQBtechnologies. 3D-принтеры и 3D-сканеры профессиональные и промышленные, 3d печать, 3d сканирование, 3d решения в Москве <https://blog.iqb.ru/sls-technology>
16. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении // Учебное пособие. – Санкт-Петербург, СПбГУ, –2013. – 221 с.
17. Suryanarayana C. Mechanical alloying and Milling. CRC Press, 2004. – 488 p.
18. Осокин Е. Н., Артемьева. О. А. Процессы порошковой металлургии: курс лекций. Красноярск: ИПК СФУ.– 2008. –электронный курс.
19. Солдаткин А.В., Терешин А.В., Юркевич И.А. Селективно лазерное сплавление Международный научный журнал « инновационная наука» – 2016. – №10.– С 41.

20. Амосов А.П. Боровинская И.П., Мержанов А. Г., Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов. М.: Машиностроение. – 2007.– 600 с.
21. Рогачев А.С. Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов. М.: Физматлит. – 2012. – 400с.
22. Мержанов А.Г. Твердопламенное горение. Черноголовка: ИСМАН, –2000. – 224 с.
23. Жаропрочные интерметаллидные сплавы. Сайт всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов. Статья от 13 апреля <https://viam.ru/review/2942>.
24. Петрушин С.И., Сапрыкин А.А., Сапрыкина Н.А. Технология послойного синтеза изделий-прототипов: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, – 2009. – 101 с.
25. Кузнецов В. Системы быстрого изготовления прототипов и их расширения // CAD/CAM/CAEObserver. – 2003. – Т. 1. – № 4 (13). – С. 2–7.
26. Suryanarayana C. In: Powder metal technologies and applications. ASMInternational, – 1998. – 80-90 pp.
27. Корчагин М.А., Тепловой взрыв в механически активированных низкокалорийных составах // Физика горения и взрыва, – 2015. – Т. 51. –№ 5. – С 77-86.
28. Additive Fabrication Terminology Unraveled.[www.additive3d.com /nm_01.htm](http://www.additive3d.com/nm_01.htm)
29. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, – 1986. – Т. 55. – №7. – С 89-100.
30. Ломовский О.И., Болдырев В.В. Механохимия в решении экологических задач. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, – 2006.– 221 с.
31. Корчагин М.А., Григорьева Т.Ф., Бохонов Б.Б., Шарафутдинов М.Р., Баринаева А.П., Ляхов Н.З. Твердофазный режим горения в механически активированных СВС системах. I. Влияние

продолжительности механической активации на характеристики процесса и состав продуктов горения // Физика горения и взрыва. – 2003. – Т. 39, – №1.

32. Корчагин М.А., Ляхов Н.З. Саморапространяющийся высокотемпературный синтез в механически активированных составах// Хим. физика. – 2008. – Т. 27. – №1.

33. Корчагин М.А., Филимонов В.Ю., Смирнов Е.В., Ляхов Н.З. Тепловой взрыв в механически активированной смеси $3\text{Ni} + \text{Al}$ // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46. – № 1.

34. Kakani S. L., Kakani A. Material Science New Age International Publishers, New Delhi, – 2006. – 657 с.

35. Singleton M.F., Murray J. L., Nash P. AlNi, Binary Alloy Phase Diagrams // Metals Park, OH: Am. Soc. Met. – 1986. – V. 2. – № 13. – 2224 p.

36. Villars P., Calvert L.D. Pearson's Handbook of crystallographic data for intermetallic phases, eds. Materials Park, OH: ASM, – 1992. – 92-24pp.

37. Stoloff N.S., Liu C.T., Stoloff N.S., Sikka V.K. The physical and mechanical metallurgy of Ni_3Al and its alloys” in Physical metallurgy and processing of inter-metallic compounds, eds. New Delhi: CBS, – 1997. – V. 7. – № 6. – 36-56 pp.

38. Filimonov V.Yu., Korchagin M.A., Smirnov E.V., Sytnikov A.A., Yakovlev V.I., Lyakhov N.Z. Kinetics of mechanically activated high temperature synthesis of Ni_3Al in the thermal explosion mode. – 2013. – V. 49, – №4. – pp. 1076–1083.

39. Korchagin M.A, Grigorieva T.F, Bokhonov B.B, et al. Solid-state combustion in mechanically activated SHS systems. I. Effect of activation time on process parameters and combustion product. CombustExplosShockWaves – 2003. – 39. – (1):43.

40. Филимонов В.Ю., Корчагин М.А., Смирнов Е.В., Ляхов Н.З. Макрокинетика твердофазного синтеза активированной смеси $3\text{Ni} + \text{Al}$ в

режиме теплового взрыва // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т.46. – № 4. – С.90-98.

41. Suryanarayana C. Mechanical alloying and Milling, CRC Press. – 2004 – 488 p.

42. Петрушин С.И., Сапрыкин А.А., Сапрыкина Н.А. Технология послойного синтеза изделий-прототипов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 101 с.

43. Yadroitsev I., Krakhmalev P., Yadroitsava I. Hierarchical design principles of selective laser melting for high quality metallic objects // Additive Manufacturing. – 2015. – V. 7. – № 7. – pp. 45-56.

44. Faidel D., Jonas D., Natour G., Behr W. Investigation of the selective laser melting process with molybdenum powder Additive Manufacturing – 2015. – V. 8. – № 10. – p. 88-94.

45. Гринберг Б.А., Иванов М.А. Интерметаллиды Ni₃Al и TiAl: микроструктур, деформационное поведение. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 361 с.

46. PDF4+ Database. International Centre for Diffraction Data. PDF card No. 04-007-0394.

47. Мильман Ю.В., Чугунова С.И., Гончарук В.А., Голубенко А.А., Ефимов Н.А., Гончарова И.В., Куприн В.В., Мордовец Н.М. Структура и механические свойства быстрозакаленного интерметаллида Ni₃Al // Электронная микроскопия и прочность материалов. Сер.: Физическое материаловедение, структура и свойства материалов.- 2013. - Вип. 19. - С. 78-85.

48. Евгенов А.Г., Базылева О.А., Головлев Н.А., Зайцев Д.В. Особенности структуры и свойства сплавов на основе интерметаллида Ni₃Al, полученного методом СЛС // Труды ВИАМ. – 2018. – Т. 1. – № 12 (72). – С. 25–36.

49. Shee S.K., Pradhan S.K., De M. Effect of alloying on the microstructure and mechanical properties of Ni₃Al // Journal of Alloys and Compounds. – 1998. – V. 265. – № 1-2. – P. 249–256.

50. Шевцова Л. И. Структура и механические свойства интерметаллида Ni₃Al, полученного по технологии искрового плазменного спекания механически активированной порошковой смеси «Ni–Al» // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – Т. 64. – № 3. – С. 13–19.

Список публикаций

1. 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.

2. 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.

Приложение А

Английский раздел

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ83	Мукашова Д.Д.		

Консультант школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зяблова Н.Н.	Канд. фил. наук		

4. Materials and methods

4.1. Obtaining powder for SLS

To prepare the initial reaction mixture, PNK-UT-3 nickel with a purity of 99.85% Ni and PA-4 aluminum with a purity of 98% Al were used. Mechanical activation was carried out in an AGO-2 planetary ball mill with water cooling (Fig. 1) [38].

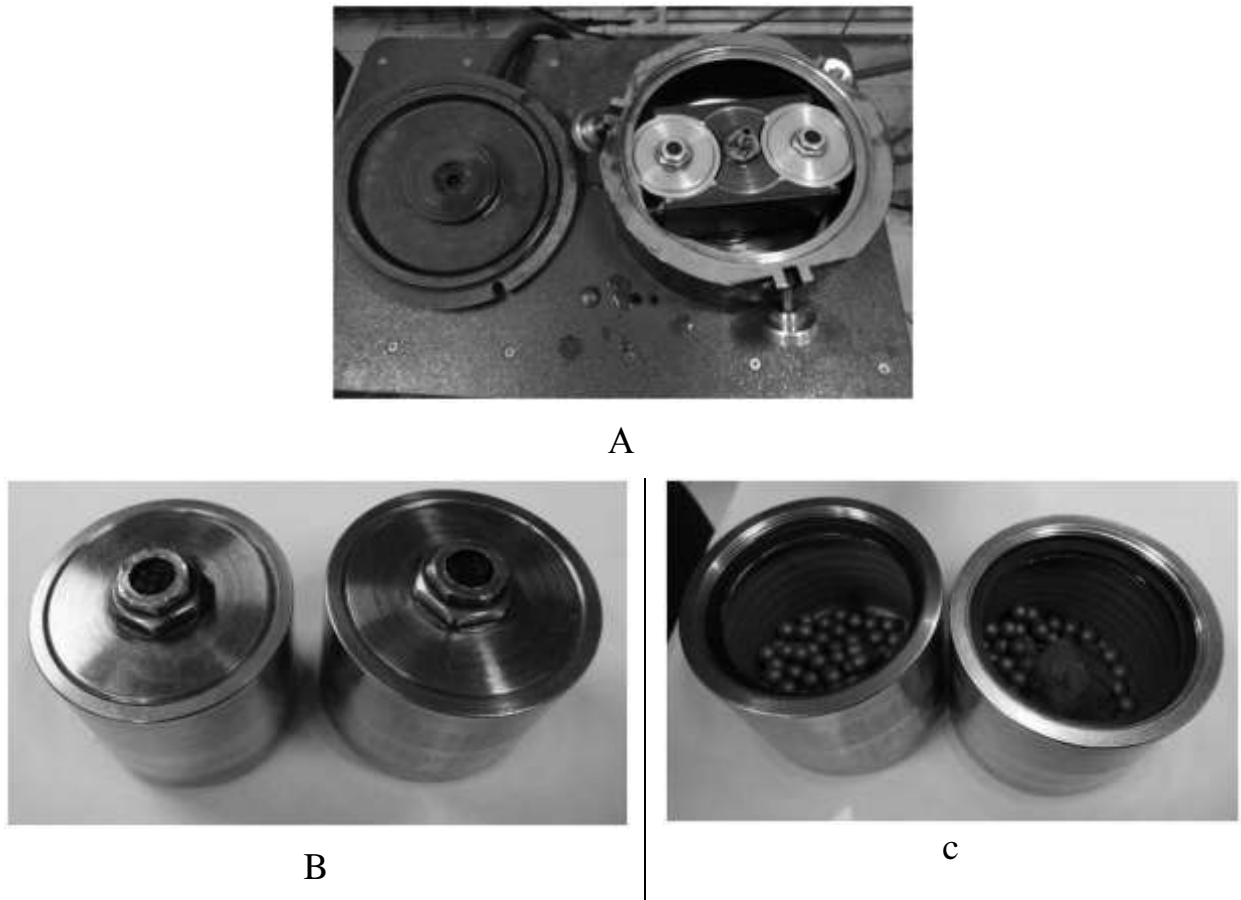


Figure 1. Appearance of the AGO-2 planetary ball mill in open state (a) and cups in closed (b) and open state (c)

The volume of each of the two steel drums of the mill is 160 cm³. The diameter of the balls is 8 mm, the mass of the balls in each drum is 200 g, the mass of the sample is 10 g. The centrifugal acceleration of the balls is 400 m s^{-2} (40g). To prevent oxidation during MA, the sample drums were filled with argon. After MA, the samples were unloaded from the drums in a box with argon medium. The activation time was 3 minutes.

The reaction was carried out using a self-propagating thermal explosion as a result of a specially made reactor, which was a steel cylinder with an inner diameter of 38 mm and a wall thickness of 1 mm (Fig. 15).

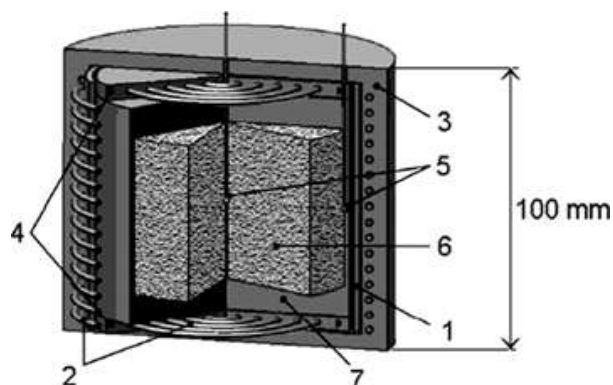


Figure 2. Thermal explosion reactor: 1 - steel cylinder; 2 - nichrome coil (heater); 3 - an insulating layer; 4 - edge heating elements; 5 - tungsten-rhenium thermocouples; 6 - powder mixture; 7 - insulating material [38].

Powdery crushed powders were loaded into the reaction cavity and pressed using uniaxial pressure into cylinders with a diameter of 38 mm and a height of 50 mm with a relative density of 70-75% of theoretical value. Heating was carried out using a chrome coil 2, through which an electric current passed. The coil was insulated from the surface by an insulating layer 3. To exclude axial gradients, edge heating elements 4 were used, containing an insulating layer 5 mm thick with holes made along its diameter. All three heating elements were connected in series. Tungsten-rhenium thermocouples with a diameter of 100 mm 5 were used to control the temperature near the surface of the reactor, near its edges and inside the charge 6. The powders were isolated from the edge heating elements and from the environment using insulating gaskets 7. The system was kept under reduced pressure (0.1 atm). The heater temperature of 700 °C ensured a heating rate of the reactor wall of 2.2 K s⁻¹ [38].

4.2. Preparation of samples Ni₃Al SLS method.

Prototyping and SLS search parameters were carried out on the "BEAM", developed by the "Center of modern technologies" TPU. Scheme working chamber is shown in Figure 3.

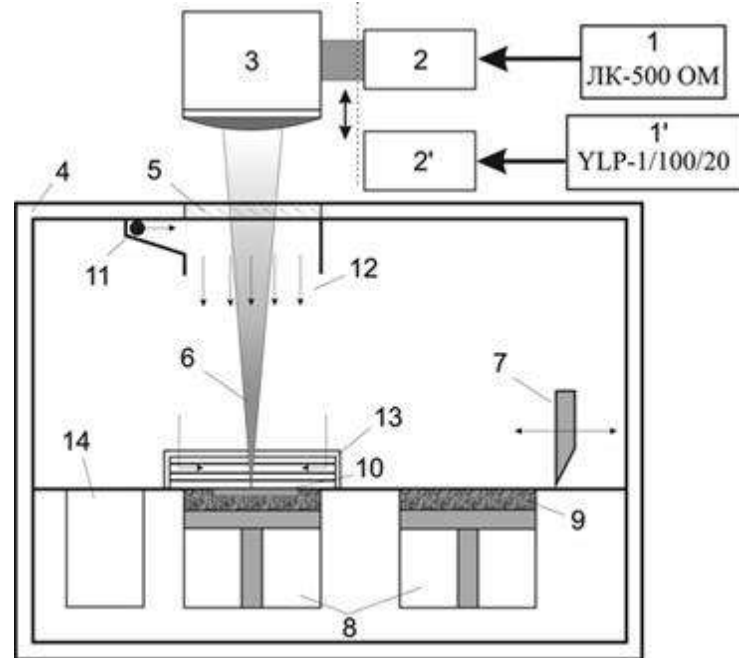


Figure 16. Diagram of the working chamber for selective laser fusion "BEAM"

1, 1' - fiber laser; 2, 2' - collimator; 3 - Coordinate Scanning Devices; 4 - a metal camera body; 5 - an optical window in the chamber; 6 - the focused laser beam; 7 - blade squeegee; 8 - lifting and lowering the platform; 9 - powder; 10 - detail of construction; 11 - a system of supplying an inert gas; 12 - the gas stream; 13 - gas discharge system from the chamber; 14 - bunker for powder surpluses

Laser radiation is generated by a laser LK-500-OM 1. The laser allows you to generate continuous radiation with a wavelength of 1.06 μm and a power of 100 - 500 watts. Using a collimator 2, laser radiation is introduced into the scanner 3. The scanner is a 2-axis galvanometric scanner head. At the output, the radiation is focused using an F-Theta lens with a focal length of 330 mm. The radiation is introduced into the chamber through an optical window 5. The laser beam 6 is focused on the surface of the powder layer and, using the scanner scan 3, moves along a predetermined path, which leads to powder fusion in the required places. After laser treatment of the powder layer, the left

platform 8 is lowered, and the squeegee 7 applies a new layer of powder. Using the right platform 8 is the supply of powder. The holes in the chamber 11 and 13 allow the circulation of the inert gas stream 12 in the chamber 4, as well as create a vacuum of up to 1.3 Pa. The laser field is limited by the size of the lifting and lowering platform and is equal to 100x100 mm².

Samples were prepared in a protective argon atmosphere at a pressure of ~ 160 MPa. Before carrying out the process for the purpose of degassing, the substrate and the hopper with the powder were heated to a temperature of 300 ° C. The heating time in vacuum was 1 hour.

Austenitic steel was used as the substrate material. Each layer was obtained in two passes with a laser with the same scan. Schematically, the laser path for these layers is shown in Figure 17.

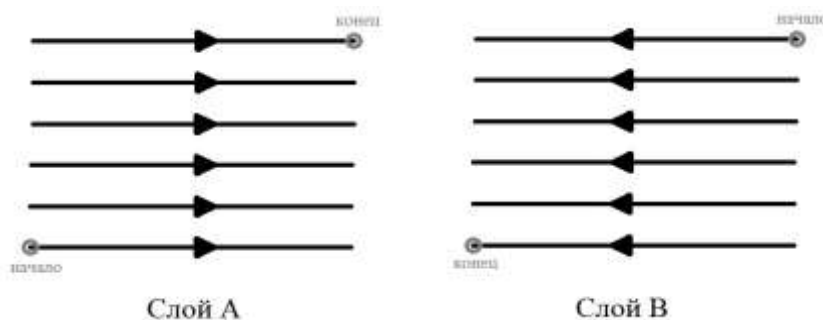


Figure 17. Schematic path of movement of the laser.

A line-by-line scanning strategy was used, the scan for each subsequent layer was rotated 180 °. Thus, the sample consists of layers of type A and B.

The diameter of the laser beam on the surface was 205 μm. The distance between the scan lines has changed. The size of the scan area is 4 x 8 mm. When selecting the technological parameters of the SLS process, several experiments were conducted with the choice of the power value (P) and scanning speed (V) of the laser beam.

The choice of scanning speed is due to two effects that accompany the laser fusion process. At a low scanning speed, the energy input of laser radiation per unit area increases, which increases the efficiency of powder

penetration. On the other hand, as shown in [43, 44], the low scanning speed, the molten powder by the action of surface tension forces going into spherical formations which, firstly, violate monolithic fused layer, secondly, protrude above the level of the resulting layer and impede uniform distribution of the powder during the formation of the next layer.

In addition, the high scanning speed is difficult for processing by the scanner system, as a result of which the laser moves along the wrong path. Therefore, to obtain high-quality samples, it is necessary to optimize the scanning speed of the laser beam taking into account the radiation power.

4.3. Methods of analysis of the structure and properties of samples

The morphology, structure, phase and elemental composition of the powders and samples of the obtained material were studied by scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive microanalysis (EDMA), X-ray diffraction analysis (XRD), and at the Nanotech Central Research Institute, Tomsk Polytechnic Institute, (Tomsk) “Laboratory of Electron Microscopy” NSTU (Novosibirsk), Institute of Chemical Physics and Technology SB RAS (Novosibirsk).

Investigation of the morphology of the powders was conducted at freely sprinkled powder but also on thin sections, coated with epoxy. The cut surface was etched with 20% H₂SO₄; HNO₃ - 60% HCl - 20%. The microstructure of the samples after etching was studied using CarlZeiss AxioObserver microscope. SEM studies and EDMA were made on microscope SEM 515 (Philips, The Netherlands) and LEO EVO 50 (Zeiss, Germany) equipped with microanalyzers to study the elemental composition.

SEM - is designed to produce an image of the object surface with high spatial resolution, and information about the composition, structure and other properties of the surface layers. SEM is used primarily to produce magnified images of objects up to subnanometer dimensions. As the name implies, the

image of the objects in the SEM, is formed as a result of scanning a sample by a focused electron beam (primary beam electrons) sequentially point by point. In this case the electron beam interaction with the material / surface of the object under study is excited by a large variety of signals.

EDMA – is an analytical method of elemental analysis of a solid substance, based on the analysis of the emission energy of its X-ray spectrum, a variant of X-ray spectral analysis.

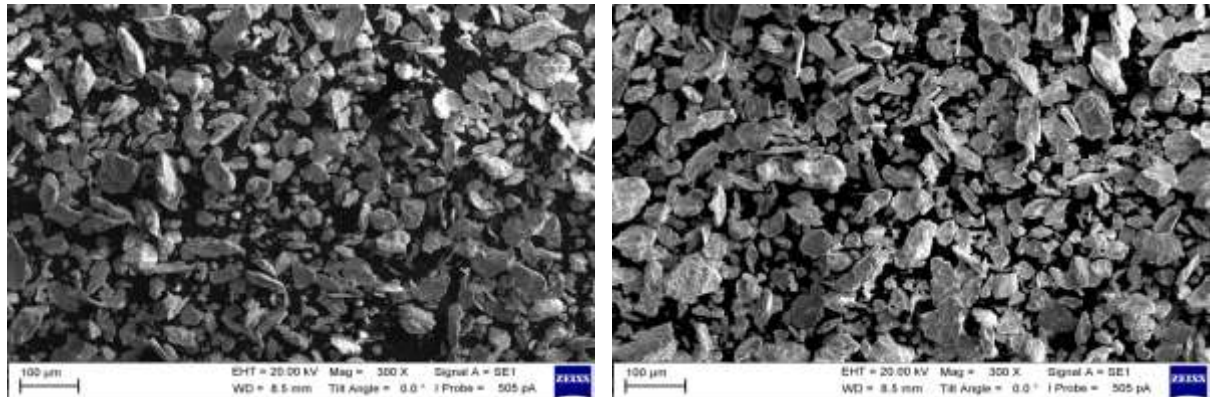
X-ray diffraction analysis is one of the diffraction methods for studying the structure of matter by the distribution in space and the intensities of x-ray scattered by the analyzed object. The basis of this method is the phenomenon of x-ray diffraction on a three-dimensional crystal lattice. X-ray diffraction studies were carried out on DRON-7 X-ray diffractometers in monochromatic $\text{CoK}\alpha$ radiation and DRON-4 in monochromatic $\text{CuK}\alpha$ radiation according to the Bragg-Brentano scheme. Since the surveys were conducted in different radiations, the angular values were recalculated for the diffraction patterns recorded in Cu radiation using the Wulf – Bragg ratio. The lattice parameters, phase ratio, coherent scattering regions, and lattice microdistortions were calculated using powdercell 2.4 software (Germany).

Certification internal structure of the samples was carried out using X-ray computed tomography for non-destructive analysis of the synthesized material structure TOLMI-150-10 unit (National Research TPU, Tomsk). The microhardness was measured on a PMT-3 device with a load of 100 g. The principle of operation of the device is based on pressing a tetrahedral diamond pyramid with an angle of divergence of 120 degrees into the test material (sample) under a certain load and measuring the linear diagonal of the resulting print.

4.4 The results of the experiment

4.4.1. The study of the structure of powders

In Figure 18 we can see the analyzed powder obtained by mechanical activation and thermal explosion.



A

B

Figure 18. SEM image of the bulk (a, b) of Ni_3Al powder obtained by mechanical activation and thermal explosion.

The powder particles in the form of disks have a shape close to oval. The particle size varies over a wide range from 15 to 250 microns.

In Figure 19 we can see the size distribution of the powder particles in the initial state. The main part of the powder - 80% is the interval from 15 to 100 microns. The fraction of the coarse fraction from 150 to 250 microns have a small proportion of the powder.

The appearance of particles of such a large size may be associated with the process of conducting a thermal explosion reaction. Coagulation of part of the powder particles during heating. However, the fraction of such particles is small.

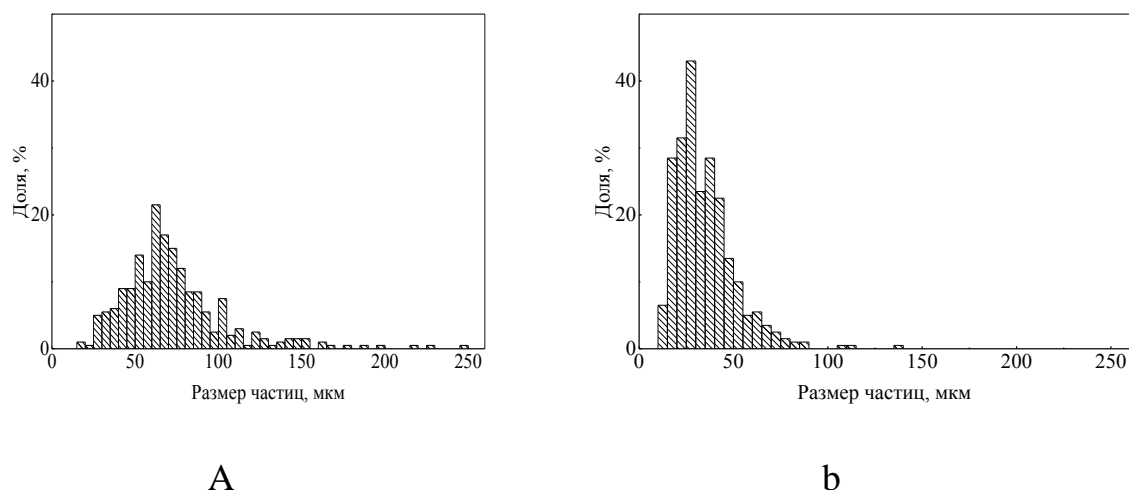


Fig. 19. Histograms of the size distribution of Ni₃Al powder obtained by mechanical activation and thermal explosion: a) all powder, b) screened fraction

For SLS, a powder fraction of less than 70 microns must be used. Therefore, the necessary powder fraction was screened through a sieve with a mesh size of 70 micron.

As shown in the histogram of Figure 19b, the particle size range after screening is from 10 to 90 microns. The size of the particles is larger than the sieve, as the shape of the particles is oval. For a smaller cross section, the size can be less than 70 microns, and for a larger cross section, 90 or more microns. Thus, particles with a large average size ended up in powder dumping.

Figure 20 shows the individual particles of the sifted powder. At a larger magnification, it can be seen that the particles have a cup-shaped morphology characteristic of powder particles after MA (Fig. 10 s). Therefore, in the synthesis process, there was no change in the morphology of the particles: their shape and surface condition.

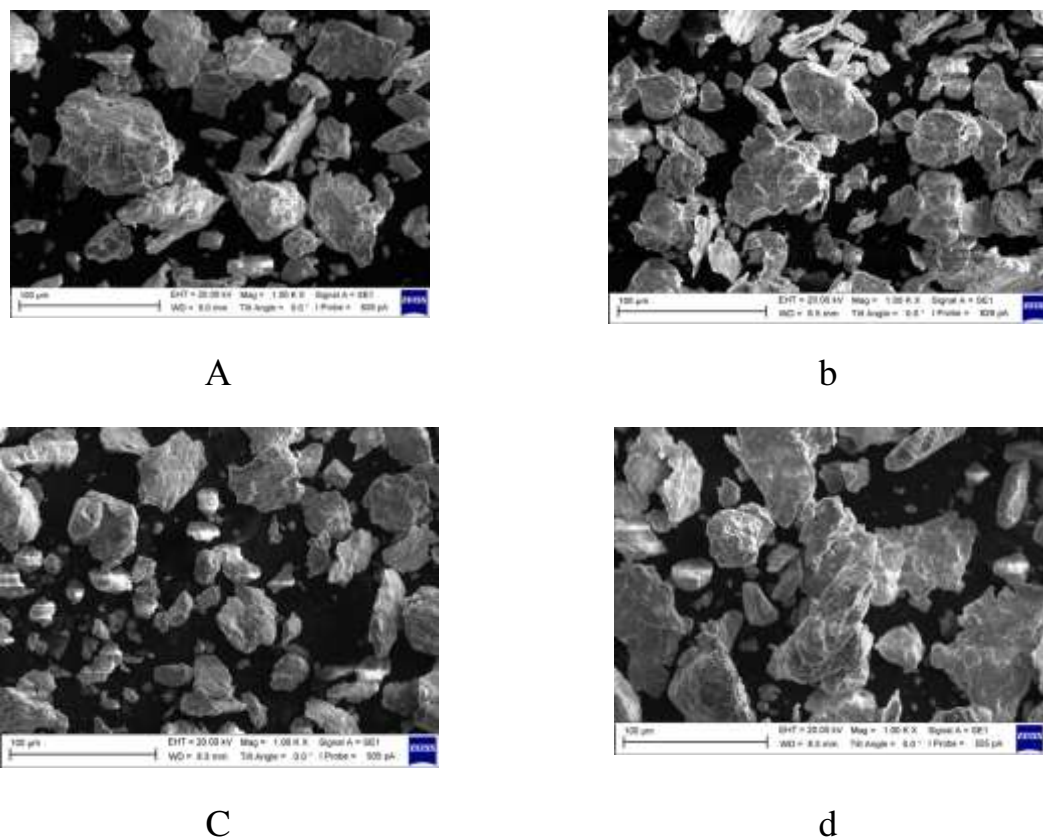


Fig. 20. The SEM image of the individual particles (a, b, c, d) Ni₃Al powder obtained by mechanical activation and the thermal explosion.

According to elemental analysis of twelve batches of the studied Ni₃Al powder, the average ratio of components is Al about 11% and Ni about 89% (table 1, Fig. 21).

Table 1. The ratio of components in powder particles after mechanical activation and synthesis

No	Ni, weight. %	Al, weight. %
1	83,4	16,6
2	89,6	10,4
3	90,3	9,7
4	85,2	14,8
5	89,3	10,7
6	92,1	7,9
7	91,9	8,1
8	88,1	11,9
9	89	11
10	90,6	9,4
11	91,7	8,3
12	90,6	9,4
Average	89,4	10,6

We can see from the data in Fig. 21, in atomic percent the ratio of the components leaves Al about 19% and Ni about 81%. This does not correspond to the ratio of components in the Ni₃Al intermetallic compound in the Ni – Al state diagram (Fig. 9). Perhaps this is due to an error in the measurement of the device or another error.

According to X-ray diffraction data, the phase composition of the powder material is represented by one phase — Ni₃Al with a cubic crystal lattice [45]. The ratios of the intensities of reflection reflections from the planes of the Ni₃Al phase correspond to the reference ones [46]. All peaks are broadened. This may be due to the refinement of structural elements, distortions of the crystal lattice, as well as an increase in internal stresses. The calculated values of the size of the coherent scattering region were ~ 100 nm. Stresses of the second kind turned out to be equal to $\Delta d / d = 4.9 \cdot 10^{-3}$.

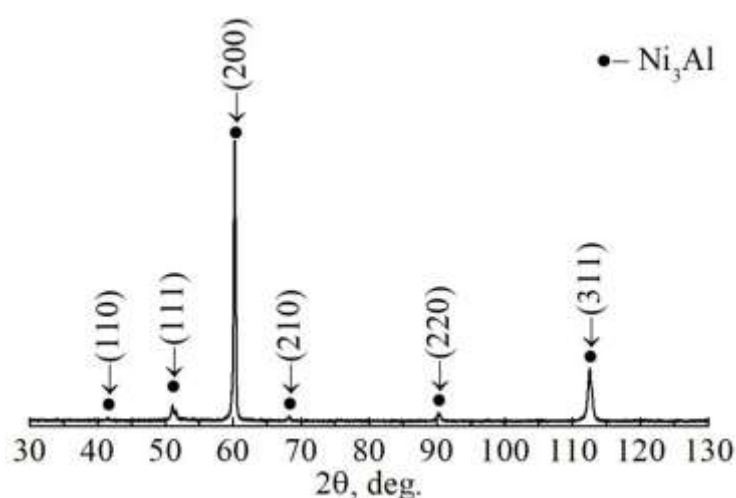
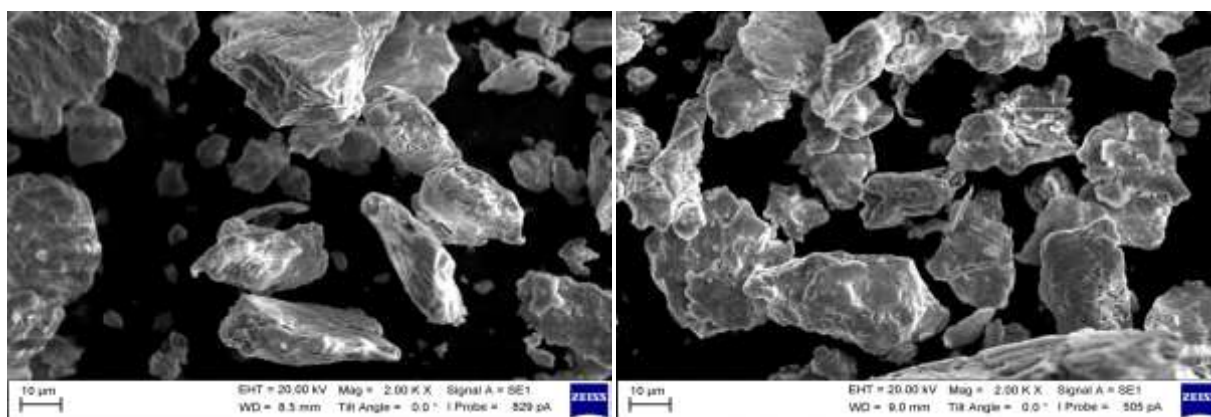


Figure 22. X-ray profile, taken from Ni₃Al powder obtained by mechanical activation and the thermal explosion.

In Figure 23, at high magnification, we can see the internal structure of the powder particle at the fracture. We can see a fine-grained structure with a pronounced texture preserved in particles after plastic deformation in the process of mechanical activation.



A

B

Figure 23. SEM image of the internal structure (a, b) of Ni₃Al powder obtained by mechanical activation and thermal explosion.

Based on the studies, it can be concluded that the provided powder is indeed a Ni₃Al intermetallic obtained by MA and thermal explosion. The phase composition of the powder corresponds to the intermetallic Ni₃Al. The shape and size of the powder particles meet the requirements for powders used for SLS.

4.4.2. Selecting SLS modes

In the first series of experiments on obtaining samples from Ni₃Al intermetallic material using SLS, the parameters of SLS were set as follows - the laser power did not change and amounted to 250 W; the variable parameters were the linear velocity of the laser and the distance between the tracks.

In the first experiment at a constant distance between the tracks 300 microns varied speed linear displacement of the laser in the range from 40 to 240 mm / s. The table shows the parameters of the laser movement and the positive or negative result of the build-up of samples.

Table 2. The result of the first experiment

The rate of linear movement of the laser, mm / sec	40	80	120	160	200	240

Evaluation of results	–	–	+	–	–	–
-----------------------	---	---	---	---	---	---

As can be seen in Figure 24a, at a high scanning speed (160 - 240mm / s), the intermetallic powder did not interact with the substrate material. Due to the low adhesion, layer buildup does not occur. At a low scanning speed (40 - 80 mm / s), under the influence of the laser on the powder, separate droplets of material formed, which were torn off and carried out with a knife of the squeegee from the scanning zone. The optimum scanning speed of 120 mm / s was optimal in this range of variable parameters. In this case, an increase in the layers of the sample occurred (Fig. 24 b). However, the sample consisted of individual large drops of molten material.

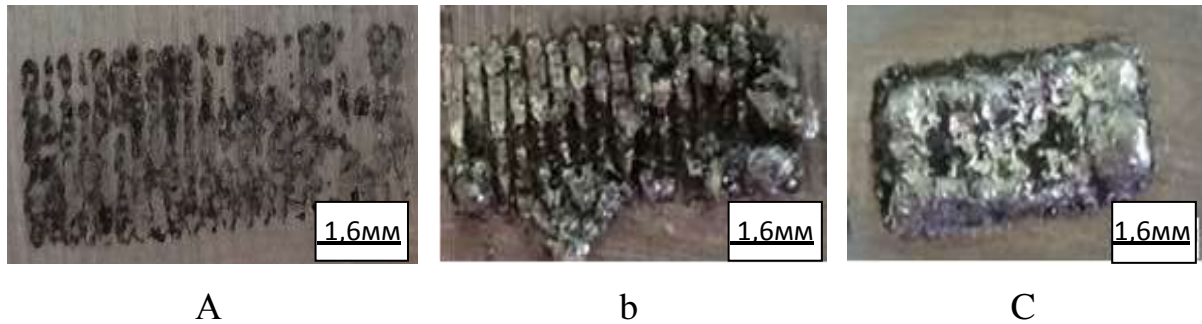


Figure 24. Photographs of the SLS of samples from Ni₃Al intermetallic obtained in different modes: laser linear velocity 200 (a) and 120 (b, c) mm / s; the distance between the tracks 300 microns (a, b) and 600 microns (c)

To reduce the energy input of the laser beam into the melted area of the material, the distance between the tracks was increased from 300 microns to 600 microns. This was the second experiment. We can see in Figure 24c, at a laser linear velocity of 120 mm / s, a solid sample was formed, without open porosity and individual drops of material.

To evaluate macroscopic defects (pores and cracks), computer tomography was performed in the sample.

It was determined that the porosity is absent in the sample, but thermal cracks are present (Fig. 25). A significant number of cracks excludes the use of

these technological SLS modes for obtaining products and requires the search for other modes.

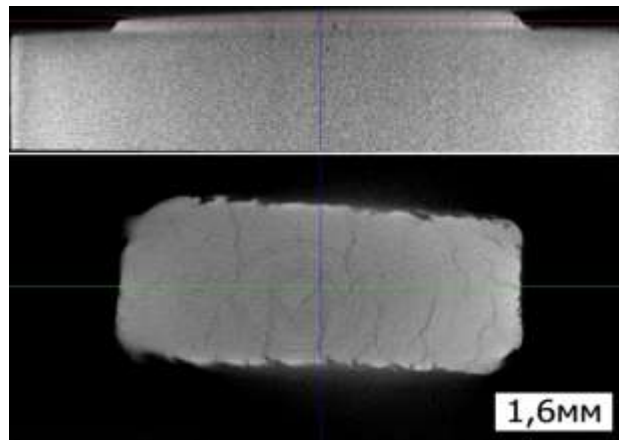
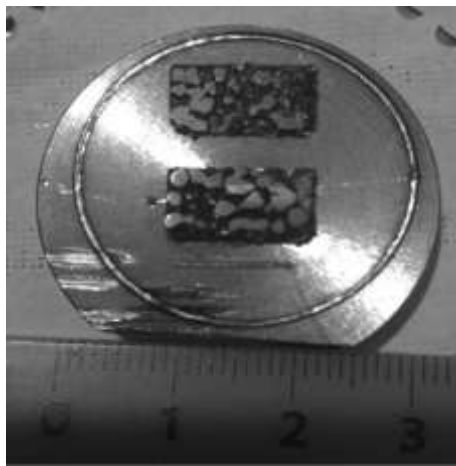


Fig. 25. Tomography of the sample at a depth of 0.2-0.3 mm from the plane of the substrate

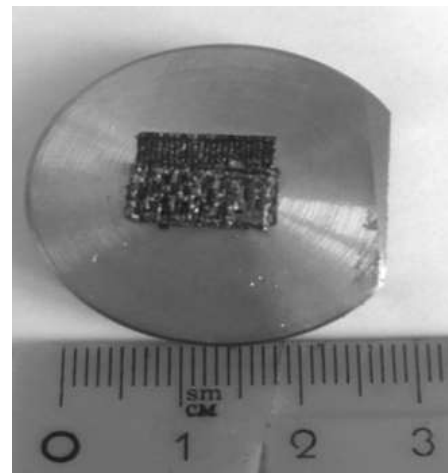
To reduce internal stresses in the process of sample formation, it is necessary to reduce the energy input into the material fusion zone, and this requires a decrease in the laser capability. Therefore, in the second series of the experiment, the laser power changed.

First, the following scanning mode was selected: laser power - 250 W, linear velocity of the laser beam - 160 mm / s, the distance between the tracks - 500 microns.

Figure 26 (a) shows a sample that was formed in these modes. The resulting sample had individual drops of material, which means that the powder was not sufficiently wetted due to the rapid movement of the laser beam.



A



b

Figure 26. Photographs of the SLS of samples from Ni₃Al intermetallic obtained in different modes: laser power of 250 W and laser linear velocity of 160 mm / s (a); laser power of 150 W and laser linear velocity of 40 mm / s (b)

In the second part of the experiment, the laser power was reduced to 150 W and the linear velocity of the laser beam to 40 mm / s.

We can see in Figure 26b, a solid sample was formed without macrodefects on the surface. Visual inspection showed that the material is dense, without open pores.

Further studies were carried out on the sample obtained in these modes: laser radiation power - 150 W, linear velocity of the laser beam - 40 mm / s, the distance between the tracks - 500 microns.

4.4.3. Study of the structure of samples obtained by SLS

Selective laser fusion did not lead to a phase transformation – the sample under study was a single-phase alloy Ni₃Al (Fig. 27). As in the case of powder material, the value of the lattice parameter almost does not differ from the reference one and amounts to $a = 0.3569$ nm [45]. The size of the coherent scattering region and the magnitude of the second-order stresses calculated from the broadening of the X-ray peaks were 12 nm and $1.8 \cdot 10^{-3}$, respectively. I.e. when in selective laser fusion, the internal stresses are lower than in the original powder material, which can be explained by the relaxation

that occurs during melting and crystallization of the material. However, since during SLS, the crystallization rate is $\sim 10^4\text{--}10^6\text{ }^\circ\text{C} / \text{s}$, internal stresses are preserved, and the grains formed in this case are relatively small, as in the case of high-speed heat treatments, for example, quenching [47]. This explains the small value of the CSR.

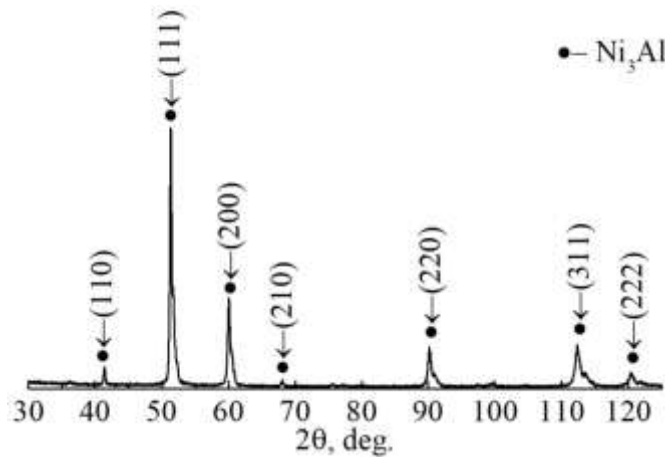
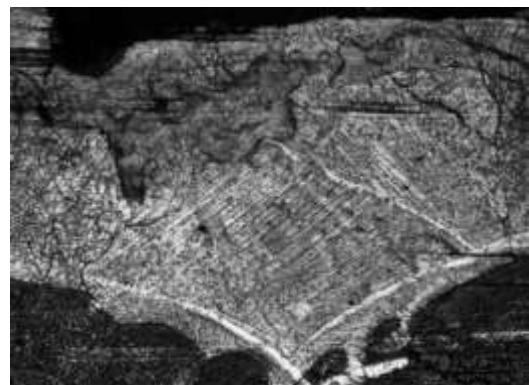
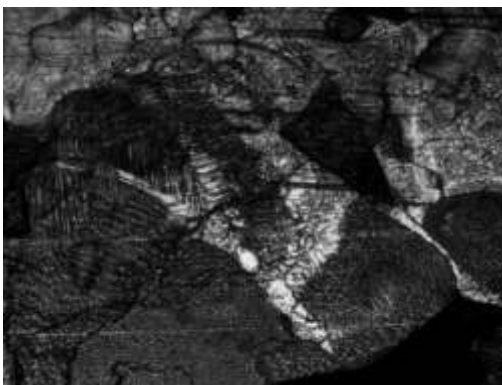


Figure 27. X-ray profile taken from a sample of Ni₃Al obtained by SLS.

On the X-ray profile of the SLS sample of the Ni₃Al alloy, a redistribution of the intensities of reflections is observed (Fig. 27). This may indicate the formation of a crystallographic texture in alloy samples formed by SLS.

This conclusion about the formation of texture in the structure of the sample is confirmed by the results of metallographic analysis. This can be seen in photographs of the cross section of the sample after etching (Fig. 28). The structure characteristic of the material after complete remelting is observed [4].



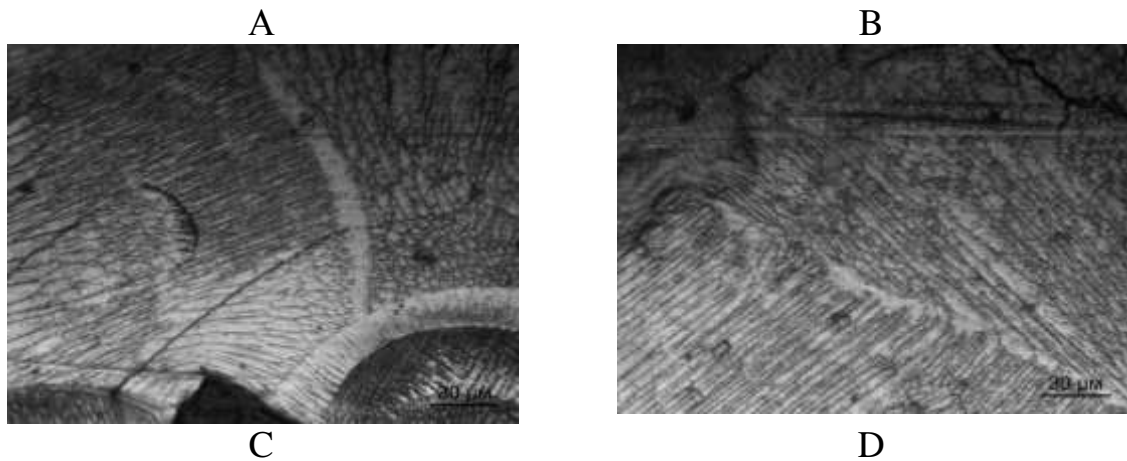
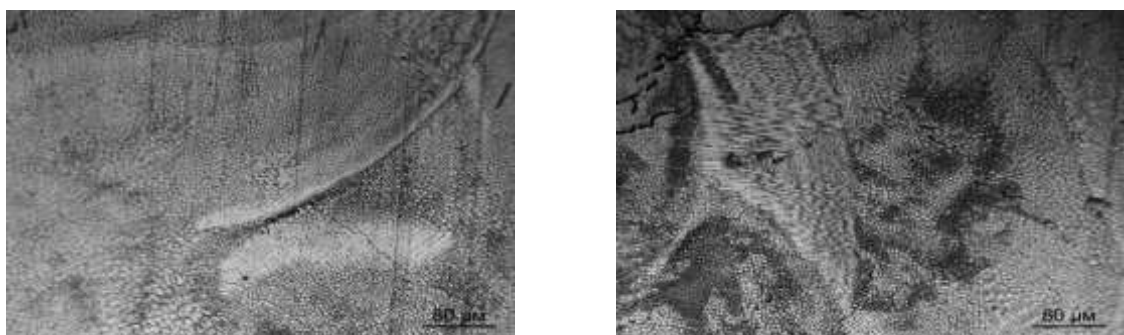


Figure 28. Optical image of the microstructure of the cross section of the sample obtained by SLS.

The sample has a cellular structure. The direction of cell growth is determined by the crystallization process from the substrate upward at an angle of about 45° . In some areas, cells grow up. In some areas where cells are visible in cross section, their growth direction is difficult to determine. In general, a pattern of texture prevalence is observed in the direction of 45° to the substrate.

When quenching Ni3Al from the liquid state described in [47], a different structure is formed. It is called dendritic in the article and consists of blocks of cells located at certain angles to each other without a given growth direction. The grain size in the cells is $7\ \mu\text{m}$.

In our case, as can be seen in the photo of the longitudinal section of the sample (Fig. 29), the grain size in the cells is close to this size, but slightly less - 2-5 microns. Based on a comparative analysis of grain size, it can be said that under crystallization conditions, SLS is close to quenching from a liquid state, but proceeds with a higher cooling rate.



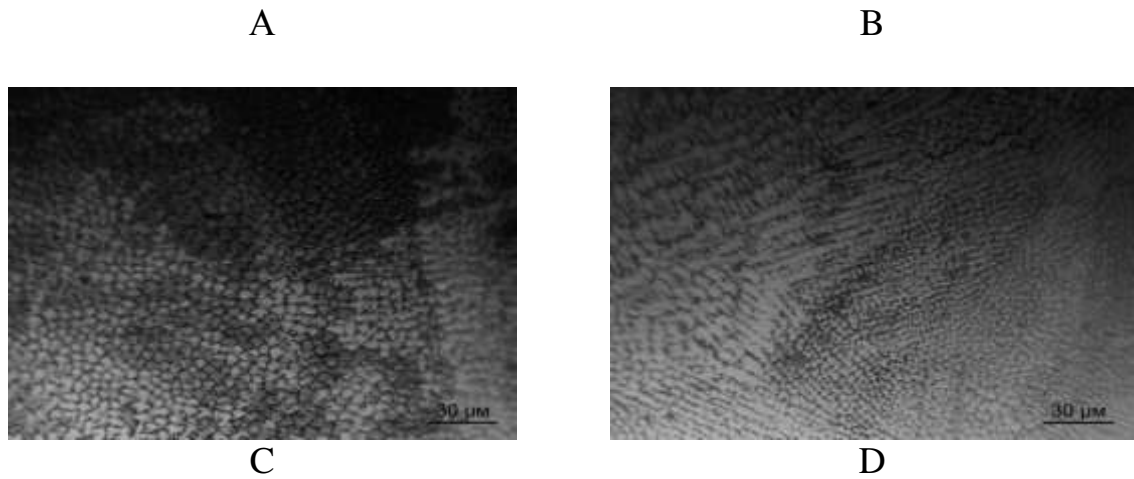


Fig. 29. Optical image of the microstructure of the longitudinal section of the sample obtained by SLS.

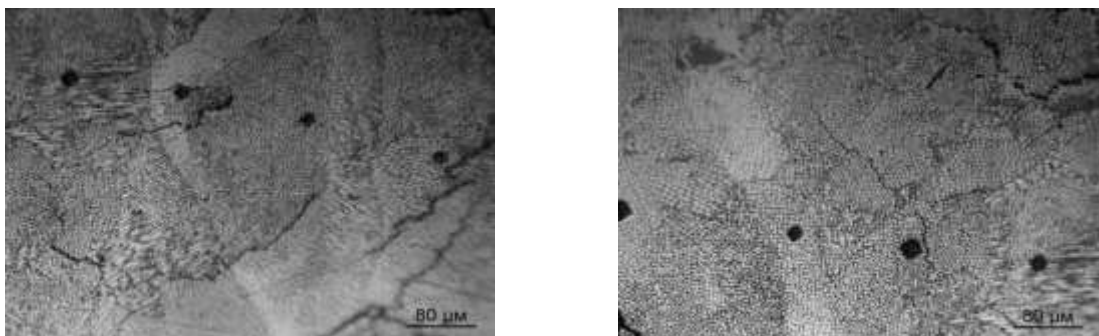
Such a fine-grained, somewhat elongated cellular microstructure is characteristic of samples from alloys based on the Ni_3Al intermetallic compound [48].

Micro cracks are observed in the sample. Although low crack resistance is characteristic of the Ni_3Al intermetallic compound [45], the presence of micro cracks will not favorably affect the properties of the products.

4.4.4. Assessment of mechanical properties

The mechanical properties of the samples obtained by SLS were evaluated by measuring microhardness.

Figure 30 shows an optical image of the cross section and prints of microhardness of the sample. The photo shows that the sizes of the prints are different even in areas with the same structure.



A

B

Figure 30. Optical image of the cross section and microhardness prints of the sample obtained by SLS.

The microhardness values are in a wide range of 2280-6130 MPa with an average value of 4130 MPa (table 3).

Table 3. The values of microhardness on the surface of the sample obtained by SLS

№/ No.	Print size	№/ No.	Print size	№/ No.	Print size
1	3980	18	6130	35	3220
2	4880	19	3980	36	2540
3	4200	20	4580	37	2330
4	4730	21	5720	38	3760
5	4460	22	4730	39	2280
6	5030	23	4460	40	3140
7	3860	24	3980	41	4200
8	2490	25	3860	42	4880
9	5360	26	4200	43	5360
10	2920	27	4880	44	5030
11	2790	28	4460	45	3380
12	5190	29	4580	46	4580
13	5540	30	3980	47	4320
14	4460	31	2990	48	4080
15	4880	32	2280	49	3380
16	3980	33	3980	Average	4130
17	3760	34	4460		

After constructing a histogram of the distribution of microhardness values (Fig. 31), it was determined that most of the values (65%) were in the range from 3750 MPa to 5600 MPa. 25% of the values are in the range from 2300 MPa to 3750 MPa and the remaining 10% are in the range from 5600 MPa to 6130 MPa.

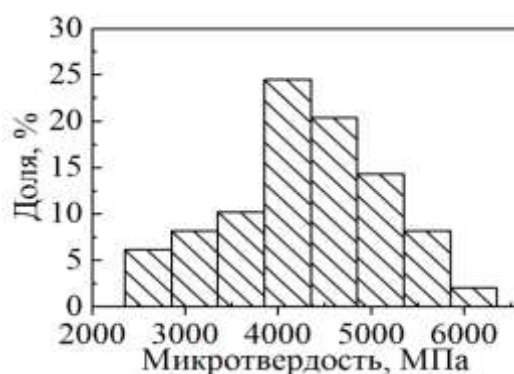


Figure 31. Histogram of the distribution of microhardness values of samples of Ni₃Al obtained by SLS.

Compare the obtained values of microhardness with the data in the works of other researchers (table 4).

Table 4. Microhardness values of Ni₃Al intermetallic compound after various external influences on the material

The nature of the external impact on the material	Microhardness, MPa	Source
Traditional methods - electric arc melting in a crucible	2900...3600	[49]
Liquid quenching	2600	[47]
Annealing after quenching 800-900°C	2550	[47]
Annealing after quenching 1000°C	2500	[47]
Annealing after quenching 1200°C	2000	[47]
MA powder followed by SHS and spark plasma sintering.	6100	[50]
The results of our own research - MA powder followed by TV and SLS.	2280-6130	Table No. 3

We can see from the data of [47, 49]. Upon crystallization under conditions close to equilibrium and upon quenching from a liquid state, a structure is formed which is characterized by a microhardness of not more than 3600 MPa. Subsequent annealing reduces the microhardness to 20,000 MPa. In our case, the main number of microhardness values falls on the interval above 4000 MPa. This means that during SLS the structure is formed at a higher cooling rate, which leads to the formation of an uneven structure and higher microhardness values.

We can see from table 4, the highest values of microhardness are formed during MA powder followed by self-propagating high-temperature synthesis and spark plasma sintering [50]. During spark plasma sintering, the micronized powder structure is partially preserved in the material, which provides a microhardness of 6100 MPa.

Upon receipt of the SLS samples, the material is completely remelted, however, the presence of high microhardness values indicates that the resulting structure is either partially inherited from the powder structure or a new one with a similar structure and properties is formed. A complete answer to this question requires additional research.