

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт Машиностроения
«Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой:

Ельцов В.В.

_____ (И.О.Фамилия)

« ____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент: Гущин Антон Андреевич

1. Тема Исследование процессов наплавки сплавов системы титан – алюминий

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы: 27 мая 2016 года

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: литературные данные, данные нормативной документации, статьи, реферативные журналы

4. Содержание выпускной квалификационной работы: 1.Анализ способов нанесения покрытий;2.Методика исследования;3.Результаты исследований;4.Безопасность и технологичность технического объекта;5.Экономическое обоснование объекта.

5.Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1.Плакат свойств интерметаллидов системыTi-Al-1;

2.Плакат анализа способов создания постоянных покрытий-1;

3.Плакат методики исследования процессов наплавки-1;

4. Плакат установки для аргонодуговой наплавки–1;

5.Плакат результатов исследований покрытий на основе Ti-Al99,7%-1;

6. Плакат эксплуатационных свойств наплавленных покрытий Ti-Al99,7%-1;

7. Плакат результатов исследований покрытий на основе Ti-AK5–1;

8.Плакат эксплуатационных свойств наплавленных покрытий Ti-AK5–1;

9.Плакат результатов исследований покрытий на основе Ti-AMц–1;

10.Плакат эксплуатационных свойств наплавленных покрытий Ti-AMц– 1;

11.Экономическое обоснование проекта - 1.

6. Консультанты по разделам: Экономическая эффективность И.В. Краснопевцева; Безопасность и экологичность технического объекта И.В. Резникова;

7. Дата выдачи задания «17» февраля 2016 г.

Руководитель бакалаврской работы

Д. И. Плахотный

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

А. А. Гущин

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(институт)

Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы

(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «СОМДиРП»

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« » 20 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы¹**

Студента Гущина Антона Андреевича

по теме Исследование процессов наплавки сплавов системы титан – алюминий

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение; 1. Анализ способов нанесения покрытий	29.02.2016			
2. Методика исследования процессов наплавки сплавов системы титан - алюминий	10.03.2016			
3. Результаты исследований процессов	14.05.2016			

¹ Бакалаврской работы, дипломной работы, дипломного проекта

наплавки сплавов системы титан - алюминий				
4. Безопасность и технологичность технического объекта; 5. Экономическое обоснование проекта	5.06.2016			
6. Графическая часть	15.06.2016			

Руководитель бакалаврской работы

Задание принял к исполнению

(подпись)

(подпись)

Д.И. Плахотный

(И.О. Фамилия)

А.А. Гуцин

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Необходимость повышения эксплуатационной надежности и срока службы высокотехнологичных изделий авиационной и аэрокосмической техники, работающих при высоких и сверхвысоких температурах, ставит задачу разработки принципиально новых материалов.

Одним из направлений по получению таких материалов является производство биметаллических конструкций и узлов с металлической (диффузионной) связью между разнородными металлами, в частности на основе системы титан – алюминий.

Для получения металлической связи между титаном и алюминием применяют различные способы нанесения покрытия, в частности, одним из таких способов является наплавка.

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы является: расширение области применения покрытий системы Ti–Al путём исследования процессов наплавки с применением Al-присадочной проволоки.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработана методика исследования процессов аргонодуговой наплавки неплавящимся вольфрамовым электродом покрытий системы Ti-Al;
- исследованы процессы аргонодуговой наплавки Al на Ti;
- исследован химический и фазовый состав, а также механические и эксплуатационные свойства.

Объект исследования – титано-алюминиевые покрытия.

Предмет исследования – влияние режимов наплавки алюминиевых присадочных проволок на поверхность титана на химический состав и механические свойства сплавов интерметаллидной системы Ti-Al.

Структура и объем работы.

Пояснительная записка состоит из введения, 5 глав, заключения и списка использованных источников из 30 наименований, изложена на 89 листах формата А4, содержит 34 рисунка, 21 таблиц.

Оглавление

Введение.....	8
1 Анализ способов нанесения покрытий	10
1.1 Фазовый состав, структура и свойства сплавов.....	10
1.1.1 Сплавы на основе интерметаллидов	10
1.1.2 Сплавы на основе алюминидов титана.....	11
1.1.3 Области применения сплавов на основе интерметаллидов.....	22
1.2 Способы нанесения покрытий	25
1.2.1 Назначение покрытий	25
1.2.2 Методы нанесения покрытий.....	26
1.3 Наплавка.....	27
1.3.1 Назначение и виды наплавки	27
1.3.2 Область применения наплавки	29
2 Методика исследования.....	30
2.1 Методика исследования процессов аргонодуговой наплавки неплавящимся вольфрамовым электродом на основе системы Ti–Al	30
2.2 Методика исследования химического состава наплавленных покрытий	32
2.3 Методика исследования механических и эксплуатационных свойств наплавленных покрытий.....	33
2.3.1 Методика исследования механических свойств наплавленных покрытий	33
2.3.2 Методика исследования эксплуатационных свойств наплавленных покрытий	34
3 Результаты исследований.....	37
3.1 Результаты исследований сплавов на основе Ti-Al99,7 %	37
3.1.1 Геометрические параметры.....	37
3.1.2 Химический состав	38
3.1.3 Жаростойкость.....	40
3.1.4 Твердость	41
3.1.5 Износостойкость	42
3.2 Результаты исследований сплавов на основе Ti-Ak5	44
3.2.1 Геометрические параметры.....	44
3.2.2 Химический состав	45
3.2.3 Жаростойкость.....	46
3.2.4 Износостойкость	47
3.2.5 Твердость	48
3.3 Результаты исследований сплавов на основе Ti-AMц.....	50
3.3.1 Геометрические параметры.....	50
3.3.2 Химический состав	51
3.3.3 Износостойкость	51
3.3.4 Твердость	52
4.Безопасность и технологичность технического объекта	54
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта	54

4.2	Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков	55
4.3	Методы и технические средства снижения профессиональных рисков	55
4.4	Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов).....	56
4.5	Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта	60
5	Экономическое обоснование проекта	63
5.1.	Расчет трудоемкости проведения НИР	63
5.2.	Сетевое планирование проведения НИР	69
5.3	Расчёт себестоимости проведения НИР	75
	Заключение	84
	Список использованных источников	86

Введение

Интерметаллидные сплавы титан-алюминий находят все более широкое применение в промышленности, что связано с их уникальным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств. Алюминиды титана имеют более высокую жаростойкость и жаропрочность, чем промышленные титановые сплавы, их плотность в 2,5 раза ниже плотности жаропрочных никелевых сплавов. Наибольший практический интерес представляют алюминиды Ti_3Al и $TiAl$ [1].

Благодаря низкой плотности и достаточно высоким прочностным характеристикам интерметаллида $TiAl$ и сплавы на его основе превосходят существующие жаропрочные сплавы на основе титана, железа и никеля по удельным значениям модулей упругости и показателям жаропрочности в широком интервале температур вплоть до $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

Механические свойства интерметаллида Ti_3Al меняются в широких пределах: $\sigma_b = 220\text{...}600\text{ МПа}$, $\delta = 0\text{...}0,5\%$. Модули упругости в меньшей степени зависят от указанных выше факторов и составляют: $E \approx 140\text{ ГПа}$; $G \approx 52,5\text{ ГПа}$. Плотность алюминида Ti_3Al равна $4,20\text{ г/см}^3$ [1].

Как и большинству интерметаллидам алюминидов титана свойственна высокая хрупкость, особенно при комнатной температуре, что затрудняет их практическое применение в качестве конструкционных материалов [1].

Однако, для формирования поверхностных слоев с повышенными эксплуатационными свойствами алюминиды титана могут успешно применяться [1].

Интерметаллидные слои на поверхности титана было предложено формировать аргонодуговой наплавкой неплавящимся электродом с подачей алюминиевой присадочной проволоки в жидкометаллической ванну [1].

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы является: расширение области применения покрытий системы $Ti-Al$ путём

исследования процессов наплавки с применением Al присадочной проволоки.

1 Анализ способов нанесения покрытий

1.1 Фазовый состав, структура и свойства сплавов

1.1.1 Сплавы на основе интерметаллидов

Интерметаллиды уже давно применяют в технике для различных назначений. Хорошо известно применение алюминидов и силицидов в качестве защитных покрытий при горячем деформировании и термической обработке химически активных металлов. Интерметаллиды составляют основу сплавов-накопителей водорода, легко поглощающих большие количества водорода при температурах, близких к комнатной, и отдающих его при невысоком нагреве при понижении его давления. Интерметаллиды, в частности, SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, Fe_{14}NdB , используют как магнитно-жесткие материалы с высокими магнитными характеристиками. Ряд интерметаллидов (Nb_3Sn , Nb_3Al , Nb_3Ge и др.) относятся к весьма перспективным сверхпроводящим материалам [1].

Несколько позднее на интерметаллиды обратили внимание как на перспективные в ряде применений конструкционные материалы. Первым объектом обстоятельных исследований в этом направлении стали алюминиды титана. Еще в 1961 г. С.Г. Глазунов с Ю.Ф. Алтуниным обратили внимание на то, что алюминиды титана TiAl и Ti_3Al могут быть полезными конструкционными материалами в авиационной технике, так как они обладают малой плотностью, высокой жаростойкостью и жаропрочностью, хорошими литейными свойствами. Практическая реализация этой идеи затянулась на многие годы из-за хрупкости этих интерметаллидов при комнатной и повышенных температурах. Тем не менее, в настоящее время разработан ряд сплавов на основе алюминидов Ti_3Al и TiAl с механическими и технологическими свойствами, обеспечившими их практическое применение.

Успех в разработке сплавов на основе алюминидов титана стимулировал исследования по изысканию перспективных жаропрочных материалов на основе алюминидов других металлов, в первую очередь никеля (Ni_3Al , NiAl). Несколько позднее была показана возможность разработки конструкционных материалов на основе алюминидов других металлов и интерметаллидов, не содержащих алюминий.

Особый класс сплавов составляют материалы с эффектом запоминания формы. Как и в случае конструкционных материалов на основе интерметаллидов, интенсивные исследования в этом направлении начались с одного из интерметаллидов титана - никелида титана (TiNi). Именно на примере никелида титана была обнаружена способность некоторых металлических материалов запоминать свою форму, предшествующую деформации, и восстанавливать ее после определенного теплового воздействия [2].

1.1.2 Сплавы на основе алюминидов титана

Из промежуточных фаз, образующихся в системе Ti-Al , наибольший практический интерес представляют алюминиды Ti_3Al и TiAl (рис. 1.1).

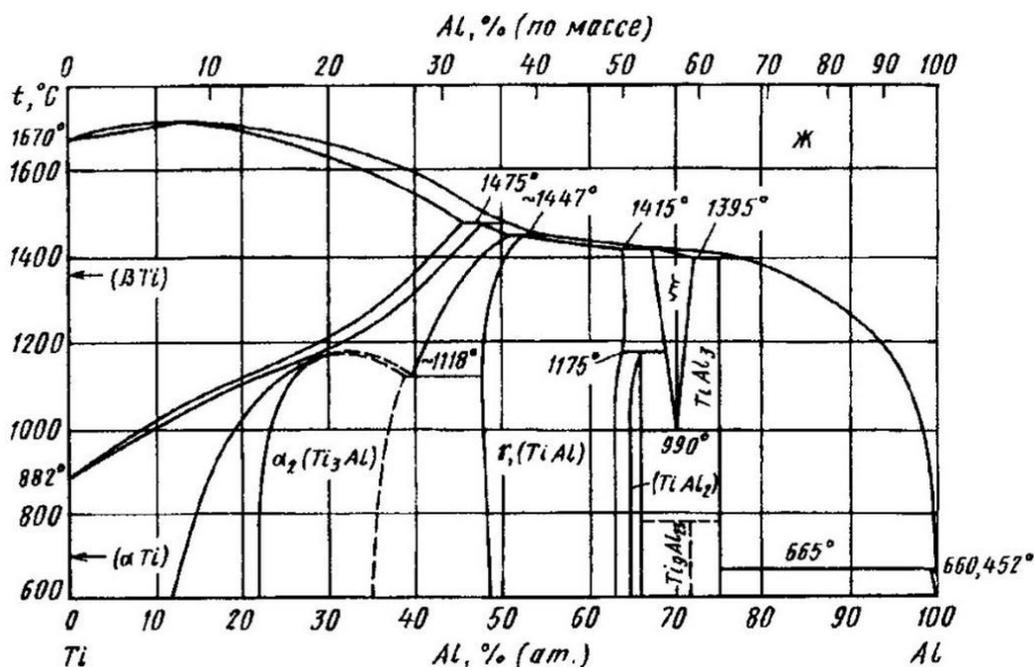


Рисунок 1.1 – Диаграмма состояния системы Ti–Al

Как уже отмечалось выше, интерметаллид Ti_3Al (α_2 -фаза) представляет собой сверхструктуру на основе α -фазы, в которой атомы титана и алюминия расположены упорядоченно. Интерметаллид Ti_3Al имеет ГПУ структуру типа DO_{19} с элементарной ячейкой (рис. 1.2), период которой a_{α_2} вдвое превышает период a_α α -фазы, а период c такой же, как и у α -фазы ($a_{\alpha_2} = 0,577$ нм; $c_{\alpha_2} = 0,462$ нм).

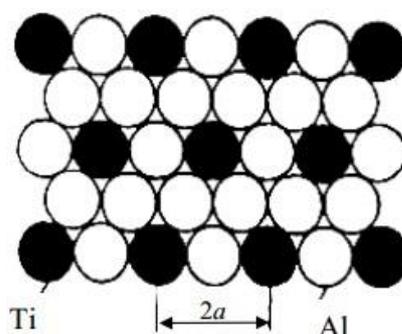


Рисунок 1.2 – Расположение атомов титана и алюминия в плоскости (0001) α_2 -фазы

Пластичность интерметаллида Ti_3Al ничтожно мала, что обусловлено особенностями его дислокационного строения и свойствами дислокаций. При комнатной температуре пластическая деформация интерметаллида Ti_3Al осуществляется, в основном, скольжением спаренных сверхдислокаций с вектором Бюргерса $b = a = 1/3\langle 1\bar{1}20 \rangle$. Пластическая деформация Ti_3Al при комнатной температуре ограничена, так как дислокации $\bar{a} = 1/3\langle 1\bar{1}20 \rangle$ способны скользить только по плоскостям $\{10\bar{1}0\}$, а остальные дислокации мало подвижны из-за блокировки. В итоге число независимых плоскостей скольжения оказывается меньше пяти, что не обеспечивает сплошности металла при деформации по критерию Мизеса. В процессе деформации в локальных объемах происходит нестабильный сдвиг, что приводит к скоплению дислокаций и зарождению микротрещины.

Механические свойства интерметаллида Ti_3Al при комнатной температуре сильно зависят от чистоты по примесям, типа и параметров микроструктуры, величины и формы микрзерна. Поэтому механические свойства интерметаллида Ti_3Al меняются в широких пределах: $\sigma_B = 220...600$ МПа, $\delta = 0...0,5\%$. Модули упругости в меньшей степени зависят от указанных выше факторов и составляют: $E \approx 140$ ГПа; $G \approx 52,5$ ГПа. Плотность алюминида Ti_3Al равна $4,20$ г/см³.

При повышении температуры временное сопротивление разрыву хрупкого малопрочного интерметаллида повышается примерно до 700 °С (рисунок 1.3), а затем снижается. Временное сопротивление разрыву более качественного интерметаллида не испытывает аномальной температурной зависимости. До 600 °С разрушение носит хрупкий характер, так что разрушение происходит до достижения предела текучести. При температурах выше 650 °С повышается подвижность дислокаций с векторами Бюргерса $1/3\langle 1120 \rangle$ и $1/6\langle 1126 \rangle$, начинает развиваться поперечное скольжение и переползание дислокаций, что и обуславливает повышение пластичности интерметаллида.

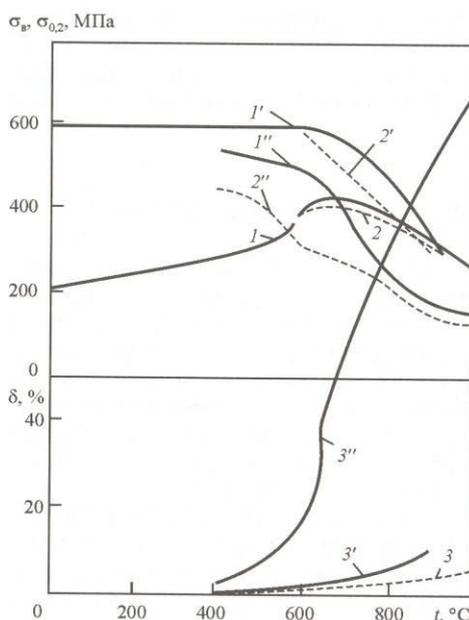


Рисунок 1.3 – Влияние температуры на временное сопротивление разрыву (1, 1', 1''), предел текучести (2, 2', 2'') и относительное удлинение (3, 3', 3'')

интерметаллида Ti_3Al по данным И.И. Корнилова, Т.Т. Нартовой и О.Н. Андреева (1, 2, 3); Липсигта и Шехтмана (1', 2', 3'); Р.М. Имаева, Н.И. Габидуллина и Г.А. Салищева (1'', 2'', 3'') (мелкозернистая структура)

Создание мелкозернистой структуры термомеханической обработкой или методами порошковой металлургии приводит к существенному повышению пластичности. В области хрупкого разрушения (при 400 °С) относительное удлинение интерметаллида Ti_3Al с мелким зерном достигает 3,2%, а при переходе к вязкому разрушению (600...650 °С) относительное удлинение возрастает с 15 до 45% (см. рис. 1.3). Интерметаллид Ti_3Al с такой структурой при малой скорости деформации ($5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$) обнаруживает при 1000 °С признаки сверхпластичности ($\delta \approx 120\%$; $m = 0,46$).

Трудности повышения пластичности интерметаллида Ti_3Al вполне преодолимы, что связано со сравнительно небольшой ковалентной составляющей связи. К настоящему времени разработана технология получения из алюминида Ti_3Al фольги толщиной 0,01 мм холодной прокаткой.

Механические свойства алюминида Ti_3Al могут быть улучшены легированием Hf, Mo, Nb, Ta, V, W, Zr и некоторыми другими элементами. Наилучшие результаты дает легирование алюминида Ti_3Al ниобием, так что система Ti_3Al-Nb является основополагающей при разработке сплавов на его основе.

Вертикальный разрез системы Ti_3Al-Nb приведен на рисунке 1.9. Ниобий понижает температуру перехода сплавов в β -область, причем при легировании β -фазы ниобием неупорядоченный твердый раствор переходит в упорядоченное состояние с кубической решеткой B2. Упорядочение β -фазы по типу B2 структуры было обнаружено также в богатых алюминием сплавах систем $Ti-Al-Mo$, $Ti-Al-Ta$, $Ti-Al-V$. Полностью упорядоченная структура образуется вблизи состава Ti_2AlX . Растворимость ниобия в α_2 -фазе при 900...1000 °С составляет примерно 12,5 % (ат.) или 24% (по массе). Фаза O

представляет собой твердый раствор на основе интерметаллида Ti_2AlNb с ромбической структурой.

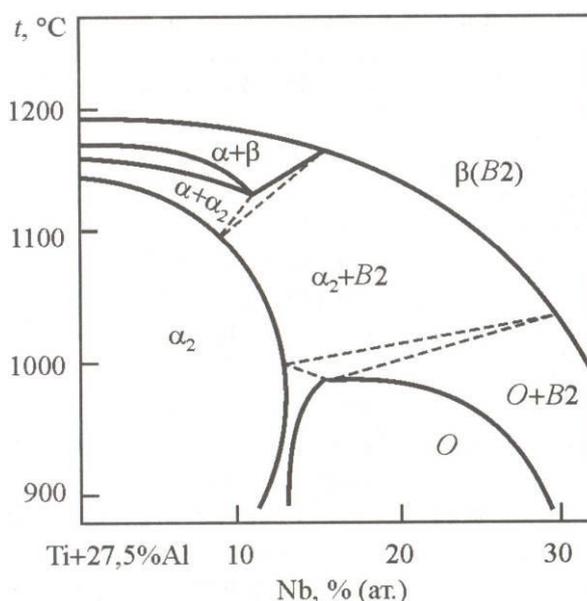


Рисунок 1.4 – Вертикальный разрез диаграммы состояния Ti_3Al-Nb

Ниобий существенно повышает пластичность интерметаллида Ti_3Al , несколько снижая жаропрочность. Повышение пластичности Ti_3Al при легировании ниобием объясняют некоторым уменьшением степени порядка. В сплавах Ti_3Al с Nb как при комнатной, так и при повышенных температурах действуют дополнительные системы скольжения $\langle 1120 \rangle \{1010\}$; $\langle 1120 \rangle \{0001\}$ и $\langle 1126 \rangle \{1121\}$, что и вызывает повышение пластичности.

К системе Ti_3Al-Nb относятся зарубежные сплавы: промышленный сплав альфа-2 [$Ti-24Al-11Nb$, % (ат.)] или [$Ti-14Al-21Nb$, % (по массе)] и опытный сплав $Ti-24Al-15Nb$ [$Ti-14Al-29Nb$, % (по массе)]. Комплекс механических свойств сплавов системы Ti_3Al-Nb можно повысить дополнительным легированием Hf, Mo, Si, Ta, V, W, Zr. Лучшим промышленным сплавом этого типа считают супер-альфа-2, содержащий, % (по массе): 15Al, 20Nb, 3V, 2Mo [$24Al-10Nb-3V-1Mo$, % (ат.)]. Этот сплав обладает более высоким комплексом свойств по сравнению с альфа-2

(таблица 1.1). Сплав можно подвергать закалке и старению. Повышение температуры старения от 650 до 850 °С после закалки сплава с ($\alpha_2 + \beta$)-области (с ~ 1060 °С) приводит к снижению прочности с одновременным повышением характеристик пластичности (таблица 1.1), что объясняют увеличением количества β -фазы.

Таблица 1.1 – Механические свойства сплавов на основе интерметаллида Ti_3Al

Сплав	Термическая обработка (структура)	Свойства при температуре, °С				σ_{100}^* , МПа
		20		650		
		σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	
Ti_3Al	Отжиг	220...600	0	430...600	2...3	130 (800)
Ti_3Al	Мелкозернистая структура	538	0,3	—	—	—
Альфа-2 (24-11)	Отжиг 1200 °С + 760 °С, 8 ч	665	2,1	—	—	—
24-15	($\alpha_2 + \beta$)-, закалка	800	5...6	—	—	—
Супер-альфа-2	Закалка 1060 °С + старение 650 °С, 2 ч	1400	0,1	—	—	—
Супер-альфа-2	Закалка 1060 °С + старение 850 °С, 2 ч	1050	1,5	—	—	—
Супер-альфа-2	Бимодальная	1000	6...9	—	—	—
ВТИ-1	Глобулярная	1050	2,5...3	820...880	—	380 (650)
	Мелкое зерно	1100	—	—	—	—
	Крупное зерно	1020...1050	1...1,5	830...860	—	—

* В скобках – температура испытаний, °С.

Сплав супер-альфа-2 обладает наилучшими механическими свойствами при бимодальной структуре, представленной равноосными зёрнами первичной α_2 -фазы, пластинами α_2 -фазы и зёрнами О-фазы. Такую структуру получают закалкой и старением, в β -, а затем в ($\alpha_2 + \beta$)-областях. Выделения О-фазы оказывают благоприятное влияние на прочность и пластичность сплава.

К этому же типу сплавов на основе интерметаллида Ti_3Al принадлежит отечественный сплав ВТИ-1: $Ti-14,5Al-22Nb-1,5Zr-0,25Si$, % (по массе). В литом состоянии сплав имеет трехфазную структуру, представленную крупными пластинами α_2 -фазы с прослойками из упорядоченной β -фазы, внутри которой расположены мелкодисперсные частицы орторомбической фазы, выделившиеся при охлаждении. После деформации в β -области структура сплава пластинчатая, а деформация в трехфазной ($\alpha_2 + \beta + O$)-области приводит к формированию равноосной мелкозернистой структуры.

Сплав ВТИ-1 с мелкозернистой структурой склонен к сверхпластичности при температурах, близких к 1000 °С ($m = 0,65$; $\delta = 600\%$ при $\dot{\epsilon} = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$).

Интерес к сплавам на основе Ti_3Al в последнее время заметно снизился в связи с разработкой высокожаропрочных деформируемых псевдо- α -сплавов типа ВТ18У. Характеристики жаропрочности у наиболее удачно легированных псевдо- α -сплавов и их предельные рабочие температуры (до ~ 600 °С) примерно такие же, как и у сплавов на основе Ti_3Al , а технологические возможности выше.

Интерметаллид $\text{TiAl}(\gamma)$ обладает упорядоченной тетрагонально искаженной гранцентрированной структурой $L1_0$, в которой плоскости $\{100\}$ заполненные атомами титана, чередуются с плоскостями, занятыми атомами алюминия. Область гомогенности этого интерметаллида в системе $\text{Ti}-\text{Al}$ довольно велика (рис. 1.1).

Пластичность интерметаллида TiAl при температурах ниже 700 °С ничтожно мала (рис. 1.5), что обусловлено особенностями его дислокационного строения. Пластическая деформация интерметаллида TiAl может осуществляться скольжением одиночных дислокаций с вектором Бюргерса $a/2\langle 101 \rangle$ и сверхдислокаций с векторами Бюргерса $a\langle 101 \rangle$ и $a/2\langle 112 \rangle$. Однако при температурах, близких к комнатной, все эти дислокации заблокированы. Блокировка одиночных дислокаций обусловлена тем, что в некоторых направлениях $\langle 110 \rangle$ их энергия сильно понижена. Дислокации, ориентированные в этих направлениях, малоподвижны. Блокировка одиночных дислокаций представляет собой термоактивационный процесс: тепловая энергия переводит дислокации из подвижных в неподвижные положения, так что с повышением температуры блокировка усиливается. Блокировка сверхдислокаций обусловлена их превращением из плоских скользящих в неплоские сидячие конфигурации. В конечном итоге блокировка дислокаций обусловлена сильными ковалентными связями. Поскольку в TiAl все дислокации при комнатной температуре

заблокированы, даже монокристаллы этого интерметаллида разрушаются хрупко.

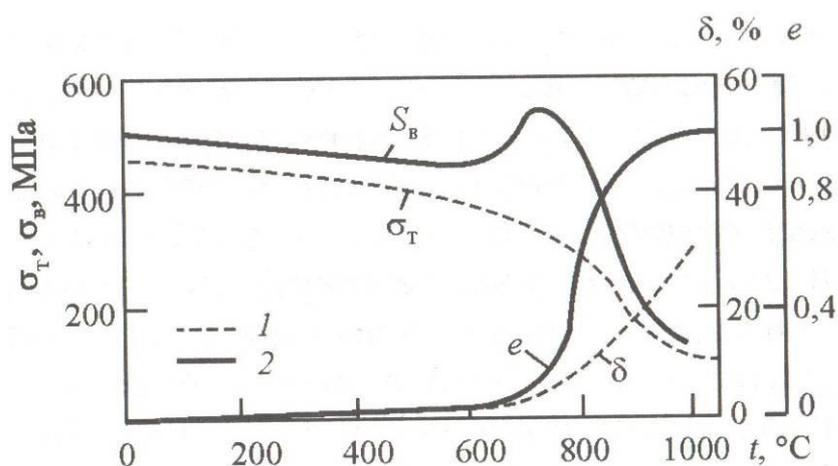


Рисунок 1.5 – Влияние температуры на механические свойства интерметаллида TiAl по данным Састри и Липситта (1); О.А. Кайбышева, Г.А. Салищева, Р.М. Имаева и др. (2); S_B – истинное сопротивление разрушению, e – истинная деформация

Выше температуры 700 °С пластичность интерметаллида резко возрастает из-за снятия блокировки дислокаций и вследствие увеличения их подвижности; помимо этого, начинается интенсивное двойникование по системам $\{111\}\langle 112\rangle$. Эти эффекты можно объяснить уменьшением ковалентной составляющей связи и усилением ее «металличности».

Истинное сопротивление разрушению S_B с повышением температуры от комнатной до 600 °С снижается, затем повышается и после максимума при температуре примерно 750 °С вновь уменьшается (рис. 1.5). Аналогичная температурная зависимость предела текучести σ_T интерметаллида наблюдается при растяжении монокристаллов всех ориентировок. Предел текучести поликристалла TiAl не всегда обнаруживает аномальную температурную зависимость (рис. 1.10). Следует отметить, что при температурах ниже 600 °С разрушение хрупкое, так что эксперимент не позволяет определить истинное значение предела текучести. Подъем предела текучести монокристаллов TiAl при повышении температуры до ~ 700 °С

объясняют различными превращениями, приводящими к блокировке одиночных дислокаций $a/2\langle 101 \rangle$ и сверхдислокаций $a\langle 101 \rangle$, а его спад при температурах выше пика – превращением заблокированных одиночных дислокаций и сверхдислокаций $a/2\langle 112 \rangle$ в скользящие.

В зависимости от чистоты и микроструктуры механические свойства интерметаллида TiAl колеблются в довольно широких пределах и при комнатной температуре составляют: $\sigma_b = 350\text{...}580$ МПа; $\delta = 0,5\text{...}1,5\%$. Модули упругости алюминида TiAl при 20 °С составляют: $E = 175$ ГПа, $G = 67$ ГПа. Из-за высокого содержания алюминия плотность интерметаллида TiAl невелика (3,8 г/см³).

В зависимости от технологии получения заготовок, режимов горячей деформации и последующей термической обработки можно получить три основных типа структур интерметаллида TiAl: lamellarную (пластинчатую), рекристаллизованную и смешанную (duplexную).

Lamellarная (пластинчатая) структура представляет собой полностью сдвойникованные пластины γ -фазы, по границам которых расположены тонкие прослойки α_2 -фазы. В зависимости от скоростей кристаллизации и охлаждения толщина γ -пластин и α_2 -прослоек может колебаться от десятых долей до нескольких микрометров. Механические свойства интерметаллида TiAl с такой структурой при комнатной температуре невысоки (таблица 1.2).

Рекристаллизованная структура представлена зернами γ -фазы и выделениями α_2 -фазы, сформированными в результате или динамической, или статической рекристаллизации. Регулируя технологические параметры, можно в широких пределах менять величину зерен γ -фазы, размер, форму и долю α_2 -фазы, тип границ зерен. Такая структура обеспечивает более высокий комплекс механических свойств при комнатной температуре (таблица 1.2) по сравнению с lamellarной структурой.

Таблица 1.2 – Влияние типа структуры интерметаллидаTiAl на механические свойства (Б.И. Бондарев, Д.В. Елагин, А.В. Молотков и др.)

Тип структуры	Механические свойства		
	σ_B , МПа	δ , %	$\sigma_{100}^{700^\circ}$, МПа
Ламельная	350...400	0,5	480
Рекристаллизованная	580	0,8	310
Дуплексная	550	1,5	380

Смешанная (дуплексная) структура состоит из областей, представленных рекристаллизованными зёрнами, и областей ламельного строения. Этот тип структуры можно получить в результате рекристаллизации в ($\gamma + \alpha$)-области. ИнтерметаллидTiAl при такой структуре обладает наилучшим комплексом механических свойств при комнатной температуре (таблица 1.2). Вместе с тем следует отметить, что характеристики жаропрочности наиболее высоки при ламельной структуре.

Мелкозернистый интерметаллидTiAl проявляет определенную склонность к сверхпластичности; при температуре 800 °С и скорости деформации $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ относительное удлинение составляет 225%.

Из двойных сплавов на основе интерметаллидаTiAl наилучшей пластичностью обладают сплавы, содержащие 47...48 % (ат.) Al. Пластичность алюминидаTiAl может быть повышена при легировании третьими компонентами: Be, Cr, Nb, Mo, Ni, Si, Sn, Mn, V, W, Ag, Ga. Полагают, что повышение пластичности может быть связано с уменьшением вклада ковалентной и увеличением доли металлической связи, что уменьшает степень блокировки дислокаций. Сопротивление ползучести увеличивают B, C, Cr, Nb, Ta, W. Легирование интерметаллидаTiAl такими элементами, как Nb, Si, Ta, W, приводит к повышению жаростойкости, в то время как ванадий увеличивает скорость его окисления при повышенных температурах. Наилучший комплекс свойств достигается при

многокомпонентном легировании. В таблице 1.3 приведены химический состав и механические свойства некоторых зарубежных сплавов.

Таблица 1.3 – Химический состав и механические свойства сплавов на основе интерметаллида TiAl (И.С. Полькин)

Условные обозначения и химический состав сплавов, % (ат.) в скобках	Технология получения. Тип микро-структуры *	Механические свойства при температуре, °С					
		20			760		
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
48-1 (Ti-48Al-0,3C)	К + Т	406	390	1,4	470	320	10,8
48-2-2 (Ti-48Al-2Cr-2Nb)	Дуплексная Л + ГИП + Т	413	331	2,3	430	310	–
	Дуплексная П + Т	–	480	3,5	–	403	40
	Дуплексная П + Т	–	480	3,5	–	403	40
	Почти lamельная Л + Т	597	510	2,9	–	–	–
ABB (Ti-47Al-2W-0,5Si)	Дуплексная Л + ГИП + Т	520	425	1,0	460	350	2,5
47ХД (Ti-47Al-2Mn-2Nb-0,8TiB ₂)	Ламельная Л + ГИП + Т	482	402	1,5	458	344	–
204в (Ti-46Al-xCr-y(Ta, Nb))	Почти lamельная Л + ГИП + Т	575	442	1,5	580	382	12,4
Сплав 7 (Ti-46Al-5Nb-1W)	Почти lamельная П + Т	717	648	1,6	692	517	–

* К – ковка, Л – литье, П – прессование, Т – термообработанный, ГИП – гидроизотермическая обработка (прессование).

Основой разработанных сплавов является не интерметаллид стехиометрического состава TiAl, а обедненное алюминием соединение с 46...48 % (ат.) Al, поскольку такой состав соответствует максимальной пластичности не только двойных, но и, по крайней мере, тройных сплавов. Наиболее распространенные легирующие элементы C, Cr, Mn, Nb, Si, Ta, W; их роль описана выше. Отметим лишь легирование некоторых сплавов боридом титана TiB₂, который повышает характеристики жаропрочности по механизму дисперсного упрочнения. Заметим, что все сплавы на основе TiAl обладают большей пластичностью при дуплексной структуре по сравнению с другими структурами при аналогичной технологии получения полуфабрикатов. К лучшим сплавам на основе TiAl относят Ti-48Al-2Cr-2Nb. Этот сплав обладает хорошим сочетанием пластичности и технологичности, высокими характеристиками жаропрочности, коррозионной стойкости.

Благодаря низкой плотности и достаточно высоким прочностным характеристикам интерметаллида $TiAl$ и сплавы на его основе превосходят существующие жаропрочные сплавы на основе титана, железа и никеля по удельным значениям модулей упругости и показателям жаропрочности в широком интервале температур, вплоть до $600...800\text{ }^{\circ}C$ (рис. 1.6) [2].

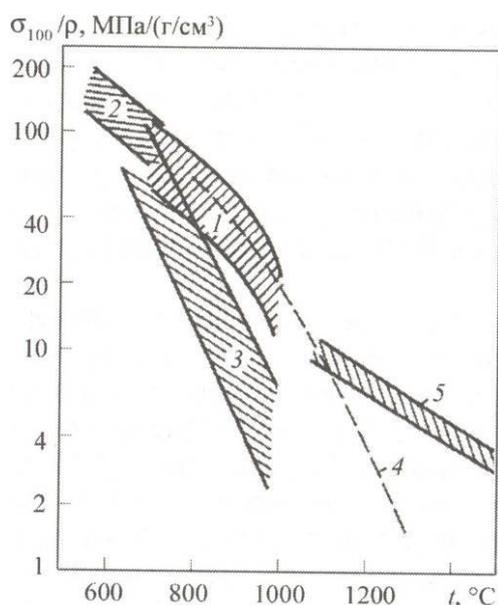


Рисунок 1.6 – Влияние температуры на удельную длительную прочность (σ_{100}/ρ) жаропрочных никелевых сплавов (1) и сплавов на основе интерметаллидов: $TiAl$ (2); $Ni_3Al(Hf, Zr + Cr) + V$ (3); ВКНА-1В на основе Ni_3Al (4); $NiAl-Y_2O_3$ (5)

1.1.3 Области применения сплавов на основе интерметаллидов

Области применения интерметаллидов и сплавов на их основе необычайно широки ввиду большого разнообразия их свойств. К этим материалам принадлежат сплавы с особыми физическими и химическими свойствами. Здесь же ограничимся более детальным рассмотрением областей применения конструкционных материалов на основе интерметаллидов.

Уже неоднократно отмечалось, что жаропрочные алюминиды и сплавы на их основе представляют значительный интерес для авиационной и аэрокосмической техники вследствие высокой стабильности, жаропрочности

и жаростойкости. Так, в частности, сплавы на основе Ti_3Al были использованы для изготовления уплотнений сопла форсажной камеры двигателя (авиационного), сотовых конструкций сверхзвуковых летательных аппаратов, а также других деталей.

Сплавы на основе $TiAl$ считают перспективными материалами для изготовления опор трубопроводов, уплотнителей кожуха, статора компрессора, воздушных фильтров камеры низкого давления, деталей сопла, лопаток компрессора, корпуса турбины авиационных двигателей. Сплавы на основе $TiAl$ могут быть использованы для изготовления элементов обшивки космических аппаратов и элементов теплозащитных систем сверхзвуковых самолетов. Интерметаллид $TiAl$ предполагается применить для изготовления выхлопных клапанов, деталей турбокомпрессоров и других элементов двигателей автомобилей взамен жаропрочных нержавеющей сталей и никелевых сплавов.

Сплавы на основе алюминидов никеля могут быть использованы в качестве конструкционных литейных материалов для изготовления деталей машин, работающих длительное время при повышенных температурах в окислительных средах, причем для обеспечения их работоспособности в этих условиях не требуется специальной защиты. Применение этих сплавов в промышленности позволит существенно повысить срок службы и эксплуатационную надежность деталей, уменьшить их массу. Новые сплавы на основе Ni_3Al предназначены для работы при повышенных температурах в среде активных газов и жидкостей. Из них, в частности, могут изготавливаться поршни, вентили, роторы в машиностроении, нагревательные трубы.

Интерметаллические соединения и сплавы на их основе являются перспективными конструкционными материалами для работы при высоких температурах. Полагают, что применение интерметаллических соединений может открыть новую эру в создании двигателей для аэрокосмической техники и развития других отраслей промышленности. [3], [7], [8].

Сплавы с эффектом запоминания формы применяют в тех случаях, когда конструкцию или ее элемент трудно или даже невозможно изготовить стандартными способами. В качестве примера можно привести постановку заклепок в соединение, к которому нет подхода с внутренней стороны. В этом случае заклепку с двумя головками охлаждают до температур ниже M_k и замыкающую головку деформацией превращают в цилиндр, равный по диаметру стержню заклепки. Стержень вставляют в отверстие заклепочного соединения и после нагрева до температур выше A_k конец стержня превращается снова в замыкающую головку.

Сплавы нитинол применяют для изготовления соединительных муфт и уплотнений трубопроводов в труднодоступных для монтажа местах, в частности, при изготовлении авиационной техники. Такие муфты для увеличения их диаметра деформируют в жидком азоте и в охлажденном виде свободно надевают на место стыка. После нагрева до комнатной температуры муфта восстанавливает свою форму и обеспечивает плотное и прочное соединение труб.

Для космической техники большой интерес представляют саморазвертывающиеся устройства большой длины, типа антенн. Изделию придают требуемую для эксплуатации форму, затем его свертывают (деформируют) при комнатной температуре, чтобы можно было транспортировать в компактном виде. После доставки к месту назначения свернутое изделие отогревается вследствие нагрева солнцем и принимает нужную форму.

Помимо указанных, было предложено множество различных других областей применения сплавов с ЭЗФ: биологические имплантанты, новые материалы в стоматологии, пружины различного назначения, тепловые двигатели, манипуляторы и др. Несомненно, что области применения сплавов с ЭЗФ непрерывно будут расширяться [1].

1.2 Способы нанесения покрытий

1.2.1 Назначение покрытий

Одним из наиболее эффективных технологических путей повышения надежности работы деталей машин и механизмов является нанесение на рабочую поверхность изделий различных покрытий.

Покрытие представляет собой поверхностный слой детали, целенаправленно создаваемый воздействием окружающей среды на поверхность материала подложки (детали), и характеризующийся конечной толщиной, а также химическим составом и структурно-фазовым состоянием, качественно отличающимся от аналогичных характеристик материала основы [3].

Большой выбор материалов, используемых для создания покрытий, позволяет обеспечить заданные свойства поверхности (или комплекс свойств) для любых деталей современного машиностроения. Обычные конструкционные материалы не всегда способны удовлетворить требованиям, предъявляемым к деталям машин и механизмов, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Конструкционные материалы повышенного качества, если и отвечают таким требованиям, могут оказаться слишком дорогими для их использования в массовом производстве.

Возникающее затруднение снимается при получении на рабочей поверхности покрытий толщиной от долей мм до нескольких мм, способных обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики деталей. Незначительный расход материала покрытия и высокие характеристики поверхности детали обеспечили повышенный интерес технологов к разработке методов нанесения покрытий целевого назначения и широкое внедрение покрытий в производственную практику [3], [4], [5], [6].

1.2.2 Методы нанесения покрытий

Существующие многочисленные способы нанесения покрытий можно классифицировать с различных позиций. По методам получения - механические, физические, химические, электрофизические; по виду технологического процесса - гальванические, вакуумные, наплавка. Покрытия различаются по используемым материалам - металлические, керамические, полимерные; по виду (состоянию) используемых материалов - нанесение покрытий в твердом (или твердом дисперсном) состоянии; нанесение покрытий из жидкой фазы (эмульсии, суспензии, лаки, шликер); нанесение покрытий из электролитических растворов; нанесение покрытий из расплавов; нанесение покрытий из газов или газовых смесей. Можно рассматривать покрытия и по их назначению - износостойкие, коррозионностойкие, жаростойкие, декоративные и т.д.

Наиболее последовательно классификацию способов нанесения покрытий следует проводить с учетом механизмов и явлений, лежащих в основе процессов нанесения покрытий и формирования его структуры:

- механические методы;
- химические методы;
- электрохимические методы;
- наплавка;
- напыление;
- высокоэнергетические технологии;
- комбинированные методы.

Научные основы различных методов нанесения покрытий известны, но изучены не одинаково глубоко. Это связано со сложностью каждого физико-химического процесса, со специфическими особенностями методов и уровнем научных исследований для каждого из них.

1.3 Наплавка

1.3.1 Назначение и виды наплавки

Наплавкой называется технологический процесс нанесения слоя расплавленного металла на оплавленную поверхность детали или изделия. Нанесенный металл после охлаждения прочно связывается с основным металлом, образуя покрытие. Впервые наплавку, как упрочняющую технологию осуществили в США в 1922г. для наплавки коронок нефтяного бура способом газовой сварки с использованием присадочного материала в виде стальной трубки, заполненной хромовым сплавом. Примерно в это же время была осуществлена наплавка клапанов двигателей внутреннего сгорания с помощью изобретенного Хайзенем сплава - стеллита (кобальтохромовольфрамового) сплава [3].

Основная цель наплавки - получение рабочей поверхности деталей машин и инструментов с повышенными свойствами, такими как износостойкость, коррозионностойкость и др. В настоящее время в технологии наплавки существует два направления:

- восстановительная наплавка деталей, подвергающихся интенсивному износу;
- изготовительная наплавка для удлинения срока службы деталей.

Восстановление изношенных деталей наплавкой оказывается экономически выгодно ввиду того, что масса наплавленного материала составляет всего лишь 2 - 4% от массы восстанавливаемой детали и это позволяет возвращать в строй действующих большую массу деталей. А если в качестве наплавленного материала используются специальные составы, то получается восстановленная деталь с повышенными характеристиками поверхности [4], [6], [7], [8].

В основе технологии наплавки лежат те же процессы, что и технологии сварки. При этом из разных способов сварки, имеющих промышленное

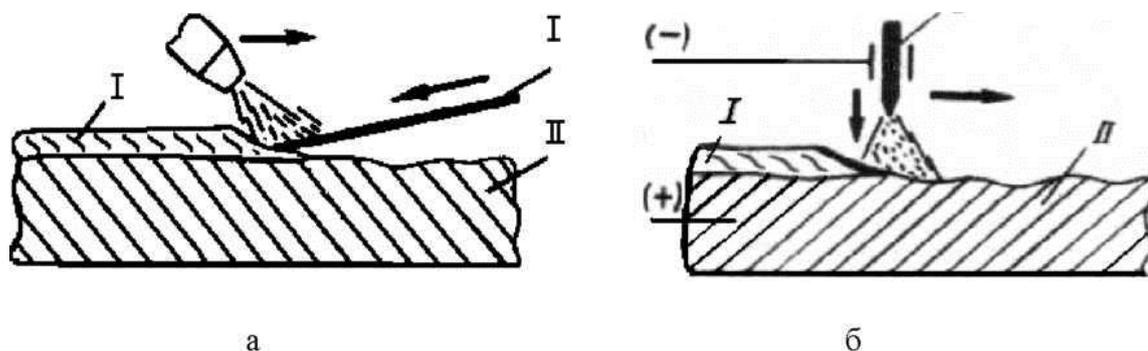
применение, для наплавки используются методы, обеспечивающие следующие условия:

- неглубокое и равномерное проплавление основного металла;
- образование ровного валика с хорошим внешним видом;
- отсутствие склонности к возникновению дефектов;
- высокая технологичность процесса;
- высокая скорость процесса.

Таким требованиям отвечают термические виды сварки.

Принятая классификация видов и способов сварки применяется и для наплавки. Виды наплавки в зависимости от формы используемой энергии: газовая наплавка (рис. 1.7 а), дуговая наплавка (покрытым электродом, под флюсом, открытой дугой, в среде защитного газа) (рис. 1.7 б), вибродуговая, электрошлаковая, индукционная, плазменная, лазерная, электронно-лучевая.

Способы наплавки в зависимости от ведения технологического процесса: ручная, полуавтоматическая, автоматическая.



I - расходный материал, II – изделие;

Рисунок 1.7 - Схема электродуговой (а) и газопламенной (б) наплавки

Кроме указанных выше способов к технологии наплавки иногда относят следующие методы - контактная приварка (ленты), электроконтактная приварка (порошка), термическая наплавка (шликера, обмазки), центробежная металлизация.

1.3.2 Область применения наплавки

С учетом достоинств и, невзирая на недостатки, технология наплавки получила широкое применение в ремонтном производстве (восстановительная наплавка) и при изготовлении деталей с повышенным ресурсом работы (изготовительная наплавка).

Наплавка износостойких покрытий применяется для восстановления деталей сельскохозяйственных машин (валы, рычаги, тяги, крестовины, лемеха, лапы культиваторов), строительных машин (режущие кромки бульдозерных отвалов, зубья ковш экскаватора, детали ходовой части). Восстановительной наплавке подвергают разнообразные по форме и размерам детали железнодорожного подвижного состава, буровой инструмент, детали горнодобывающего оборудования [6], [17].

2 Методика исследования

2.1 Методика исследования процессов аргодуговой наплавки неплавящимся вольфрамовым электродом на основе системы Ti–Al

Исследования процессов наплавки алюминидов титана проводили на специальной автоматической двухкоординатной установке, состоящей из рамы с направляющими рельсами, механизма позиционирования, оборудования для подачи присадочной проволоки, источника питания. (рис. 2.1)

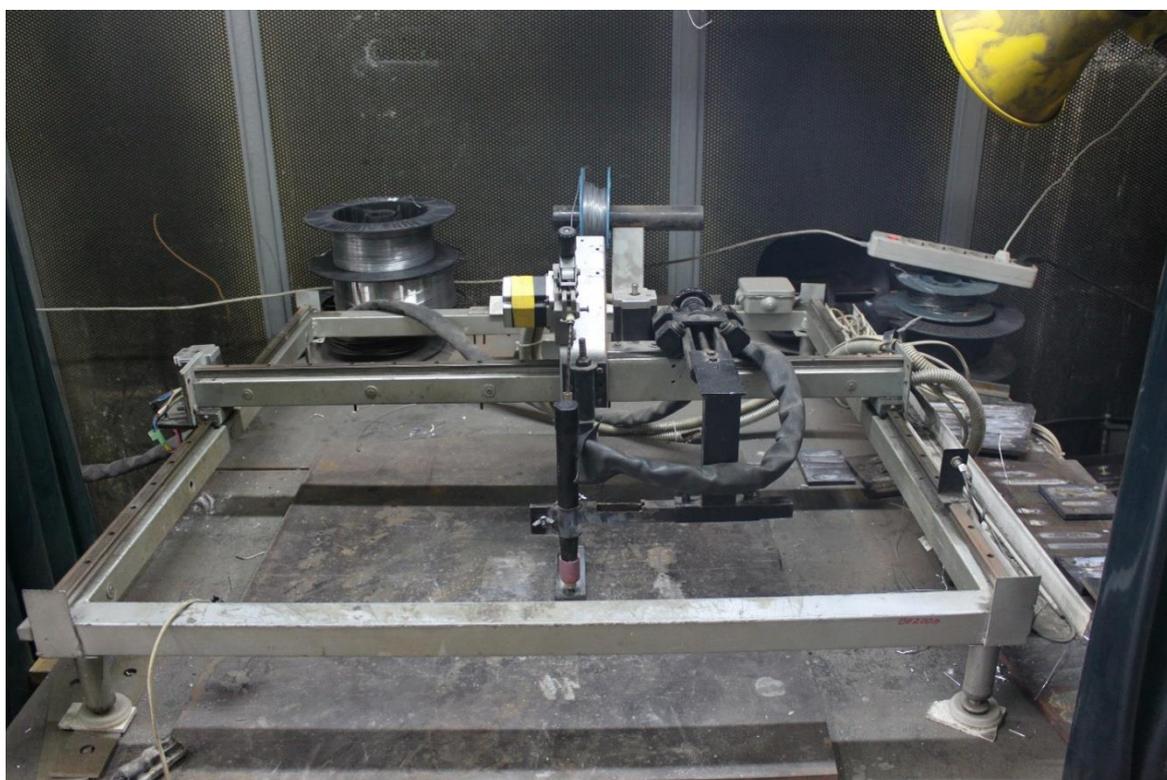


Рисунок 2.1 – Установка для автоматической аргодуговой наплавки неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки

Для наплавки использовали сварочную горелку AUT-TIG 400W фирмы AbicorBinzel с жидкостным охлаждением.

Для изменения положения сварочной горелки использовали механизм, состоящий из специального исполнительного механизма линейного

перемещения с небольшим люфтом передвижения. Рабочий ход составляет 150 мм. К механизму присоединяется кронштейн для изменения положения горелки с двумя осями, который позволяет во время подготовительных операций перед наплавкой выставить длину сварочной горелки и её положение относительно точки ввода присадочной проволоки

Для наплавки использовали образцы из титана марки ВТ1-0 размером 120×120×10мм. В качестве электродного компонента использовались присадочные проволоки АМц диаметром 1 мм; АК5 диаметром 1 мм и проволока из технически чистого алюминия диаметром 1 мм. (таблица 2.1)

Таблица 2.1 – Химический состав присадочных проволок

Марки сплавов	Массовая доля элементов, %					
	Алюминий	Магний	Марганец	Железо	Кремний	Титан
АК5	»	-	-	-	4,5-6,0	0,1-0,2
АМц	»	-	1,0- 1,5	0,70	0,60	-
ЕНАW-	99,7	0,03	0,03	0,25	0,20	0,03

Источниками питания для наплавки служил Сварог 315Р АС/DC.(рис.2.2).



Рисунок 2.2 – Сварочный источник Сварог 315Р АС/DC.

Режимы наплавки варьировались в не больших пределах. Скорость наплавки составляла от 0,1 до 0,2 м/мин. Скорость подачи проволоки при наплавке изменялась в пределах от 1 до 6 м/мин. Сварочный ток варьировался от 240 до 300А. Все режимы аргодуговой наплавки регулировались при помощи блока управления сварочным источником и блока управления перемещения портала.

Геометрические параметры наплавленных валиков измерялись при помощи программы UniversalDesktopRuler с заданием масштаба на фотографии макрошлифа и дальнейшем измерении геометрических параметров наплавленных валиков по нормативному документу РД 03-606-03.[16]

2.2 Методика исследования химического состава наплавленных покрытий

Анализ химического состава проводился методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) основан на регистрации различных типов сигналов, генерируемых в образце при сканировании его поверхности сфокусированным электронным зондом. Вторичные, отраженные и оже-электроны, рентгеновское излучение и другие типы сигналов несут информацию о структуре, фазовом и химическом составе образца. Высокая разрешающая способность, большая глубина фокуса в сочетании с наглядностью изображения, простота подготовки объектов исследований, широкие возможности элементного анализа при использовании различных систем регистрации рентгеновского излучения (волнодисперсионные (WDS) или энергодисперсионные (EDS) системы) позволяют успешно использовать метод РЭМ в материаловедческих исследованиях для изучения структуры и элементного состава покрытий, поверхностей химического взаимодействия, отложений и так далее [10], [27], [28].

Для проведения исследований были специально подготовлены образцы, представляющие собой отшлифованную поверхность поперечного сечения наплавленного слоя на основе интерметаллидного сплава титан-алюминий.(рис.2.3)

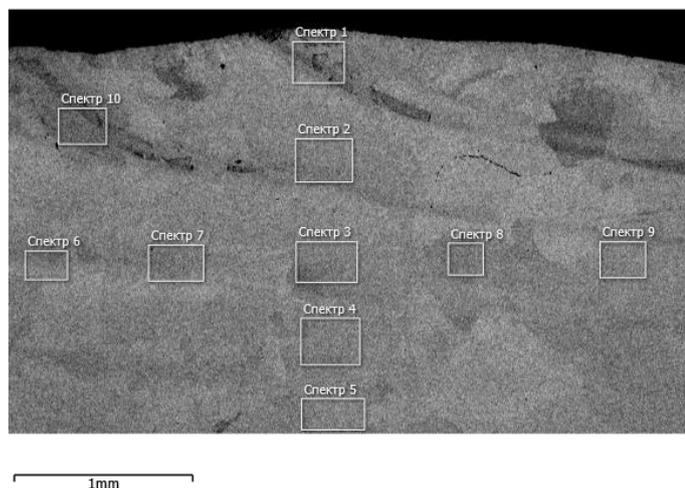


Рисунок 2.3 – Схема выбора точек для исследования методом РЭМ

2.3 Методика исследования механических и эксплуатационных свойств наплавленных покрытий

2.3.1 Методика исследования механических свойств наплавленных покрытий

Твердость наплавленных образцов измерялась по методу Роквелла с применением шкалы HRC, а так же с применением алмазного наконечника (индентор), имеющий конусную форму. Сам метод основан на измерении глубины проникновения индентора в материал. Исследования проводились на универсальном твердомере HBRV–187.5 по ГОСТ 9013-59[19],[30] (рис.. 2.4).



Рисунок 2.4 –Твердомер HBRV-187.5

2.3.2 Методика исследования эксплуатационных свойств наплавленных покрытий

Износостойкость наплавленных покрытий при абразивном изнашивании определялась способностью его поверхностных слоев противостоять внедрению абразивных частиц [10]. Испытание на износостойкость проводили на выточенных образцах, поверхность которых состояла из наплавленного покрытия. Размер подготовленной поверхности для проведения исследования составлял 6.6×5.5 мм. Чтобы сравнить степень износа были подготовлены образцы из металла (Сталь 3) аналогичного размера изнашиваемой поверхности – 6.6×5.5 мм.

Для исследования износостойкости была применена экспериментальная установка, позволяющая обеспечивать стабильную нагрузку на исследуемый образец (рис. 2.5) [10],[29].

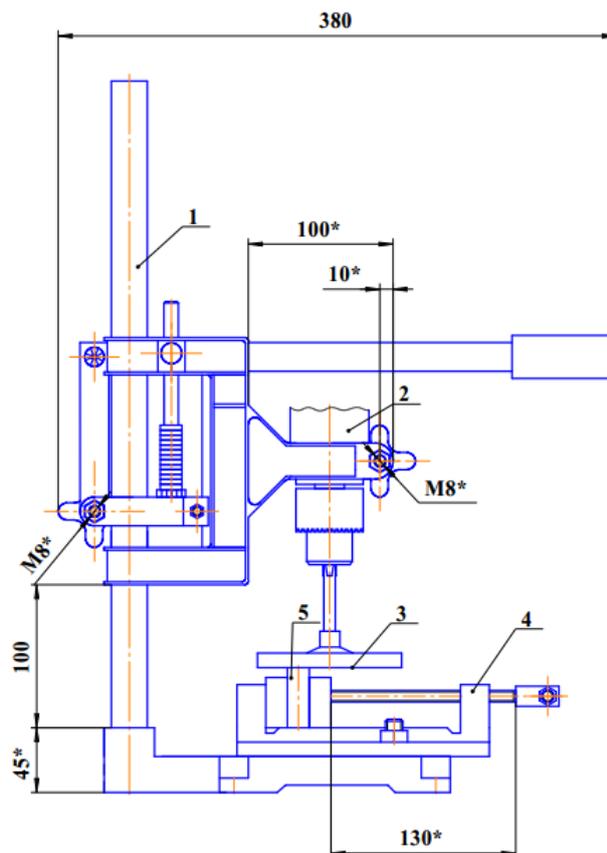


Рисунок 2.5 – Установка для испытания износостойкости наплавленных образцов [11]

Установка состоит из станины 1 с закрепленным приводом 2, соединенным с металлическим диском 3. Металлический диск снабжен зажимами, с помощью которых на нем крепится абразивная шкурка. На станине под диском расположены тиски 4 для установки испытуемых образцов 5. Установка снабжена таймером, позволяющим задавать необходимое время испытаний. Давление на образец при испытании регулируется установкой грузов на рычаг [10].

Износостойкость при абразивном изнашивании выражается в виде относительной износостойкости:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{\text{э}}}{\Delta l_{\text{м}}}, \quad (2.1)$$

где:

$\Delta l_{\text{э}}$ – линейный износ эталона;

Δl_m – линейный износ испытываемого материала.

Износ образцов замеряли штангенциркулем ШЦ-1 со значением отсчета по нониусу 0,1 мм.

Жароустойчивость покрытия определялась по относительному изменению массы образцов с одинаковой площадью поверхности по ГОСТ 9.312-89 [20], выдерживаемых в печи сопротивления при 800 °С, в течении 1250 часов. (рисунок 2.6) Температуру испытаний выбрали исходя из максимальной температуры эксплуатации алюминидов титана . Массу образцов измеряли через каждые 50 часов выдержки после предварительного удаления продуктов высокотемпературной коррозии с поверхности образцов. Для проведения испытаний была использована печь сопротивлением(рис. 2.6) [11].



Рисунок 2.6 – Печь сопротивлением

3 Результаты исследований

3.1 Результаты исследований сплавов на основе Ti-Al99,7 %

3.1.1 Геометрические параметры

Для исследования процессов формирования интерметаллидных покрытий на основе титан-алюминий, были подобраны следующие режимы наплавки:

Таблица 3.1 – Режимы наплавки Ti-Al

№ Образца	$V_{\text{подAl}}$, м/мин	$V_{\text{св}}$, м/мин	$I_{\text{св}}$, А
1	1	0,152	270
2	2	0,152	270
3	3	0,152	270
4	4	0,152	270
5	5	0,152	270
6	6	0,152	270
7	2	0,1	270
8	2	0,2	270
9	2	0,152	300
10	2	0,152	240

Проведенные исследование показали, что при выбранных режимах наплавки формировался валик со стабильными геометрическими параметрами. (таблица 3.2)

Таблица 3.2 – геометрические параметры наплавленных валиков

№ Образца	Ширина шва (l), мм	Высота шва (h), мм	Проплавление (e), мм
1	14,53	1,31	4,92
2	13,73	2,64	4,98
3	17,3	3,02	4,65
4	19,6	2,75	4,95
5	17	3,37	4,76
6	19,64	4,52	4,16
7	23,47	2,86	4,56
8	14,95	1,37	4,16
9	20,19	1,66	5,71
10	16,08	1,58	3,16

Внешний вид наплавленного образца представлен на рисунках 3.1



Рисунок 3.1 – Внешний вид наплавленного валика №10

3.1.2 Химический состав

Среднее содержание алюминия в наплавленном валике в зависимости от режимов наплавки составляло 11,5–49% и изменялось в соответствии с уравнением регрессии:

$$Al (\% \text{ вес.}) = 51,58 + 6,65 V_{п/ппAl} - 64,16 V_{н} - 0,12 I_{н} \quad (3.1)$$

Увеличение силы сварочного тока, вследствие увеличения площади проплавления основного металла, приводило к уменьшению содержания алюминия в наплавленном металле. При увеличении скорости подачи алюминиевой присадочной проволоки содержание алюминия в наплавленном металле возрастало в связи с увеличением массового расхода алюминия и уменьшения площади проплавления основного металла. При увеличении скорости наплавки уменьшается весовой расход алюминия, что приводит к снижению содержания алюминия в шве. [11]

На рисунке 3.2 представлен график химического состава по сечению шва.

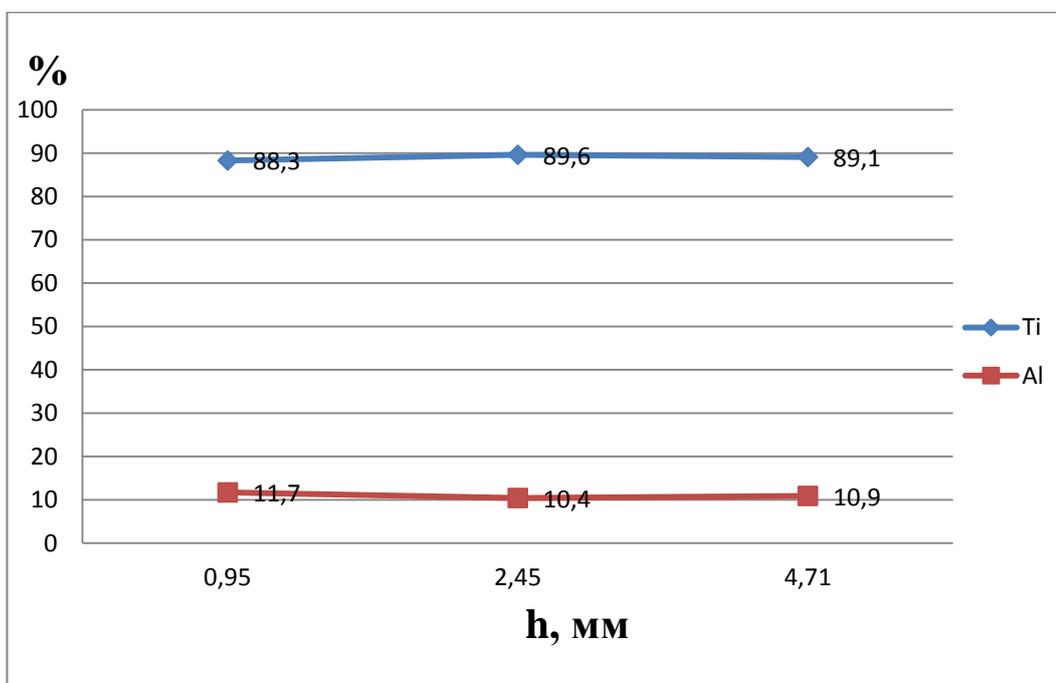


Рисунок 3.2 – График процентного содержания элементов по сечению наплавленного покрытия №3

Рассматривая графики процентного содержания элементов по сечению наплавленного покрытия можно сделать вывод, что неоднородность химического состава наплавленных валиков не превышает 5%.

3.1.3 Жаростойкость

Исследования жаростойкости при выдержки в течение 1250 часов при температуре 800 °С показали, что потеря массы эталонного образца из титана составляла более 21,5%. Потеря массы наплавленных образцов с содержанием алюминия 20,5 % не превышала 11,9%, а с содержанием алюминия 35% не более 0,8%. В образцах с содержанием алюминия более 40% наблюдалось увеличение массы образцов, что связано с трудностью удаления оксидного слоя с поверхности образцов. [11]

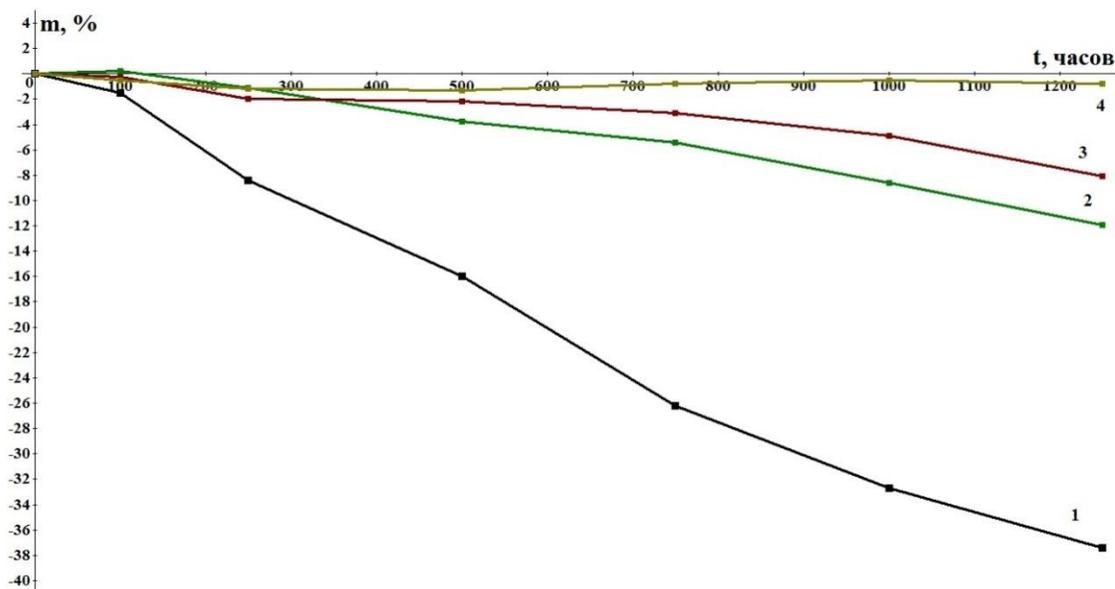


Рисунок 3.3 – Жаростойкость образцов 1, 2, 3, 4

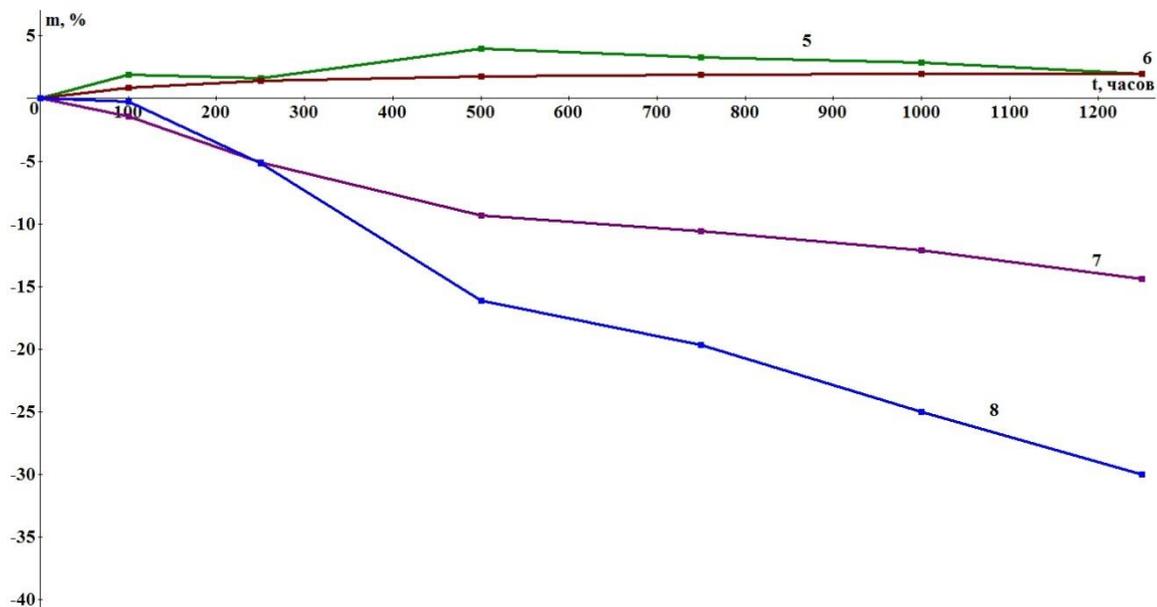


Рисунок 3.4 – Жаростойкость образцов 5, 6, 7, 8

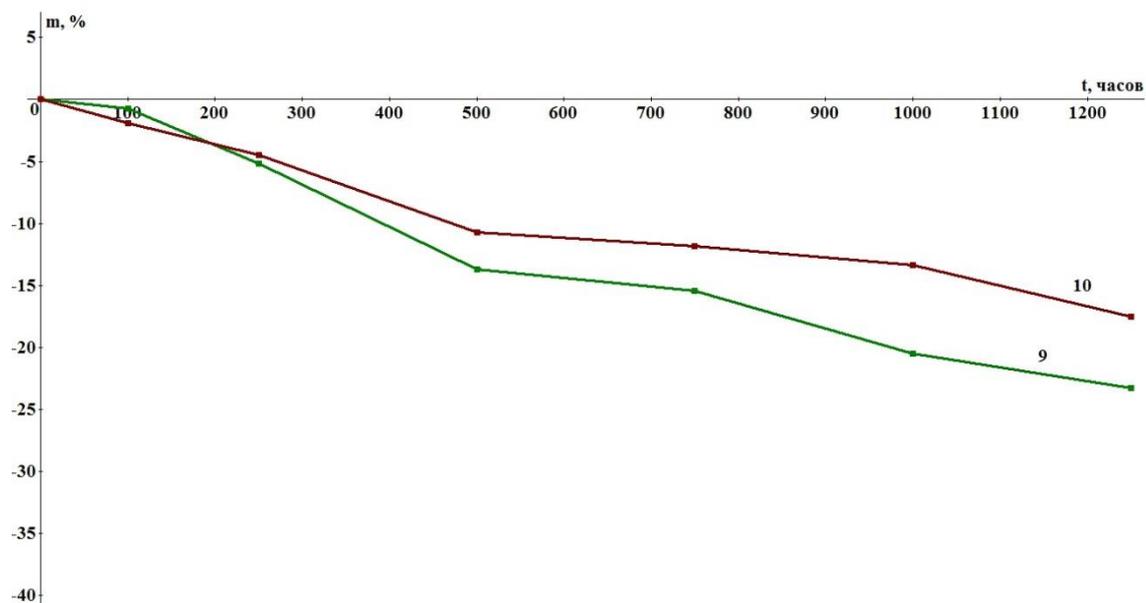


Рисунок 3.5 – Жаростойкость образцов 9, 10

На основе выведенных данных можно сделать вывод, что с повышением содержания алюминия жаростойкость наплавленных покрытий увеличивается.

3.1.4 Твердость

Твердость наплавленного валика изменялась в пределах 12–36 HRC. Повышение содержания алюминия с 12% до 30% способствовало повышению твердости наплавленного металла (рис. 3.6). Дальнейшее увеличение содержания алюминия приводит к снижению твердости, что связано с увеличением содержания в структуре металла $\gamma(\text{TiAl})$ -фазы.

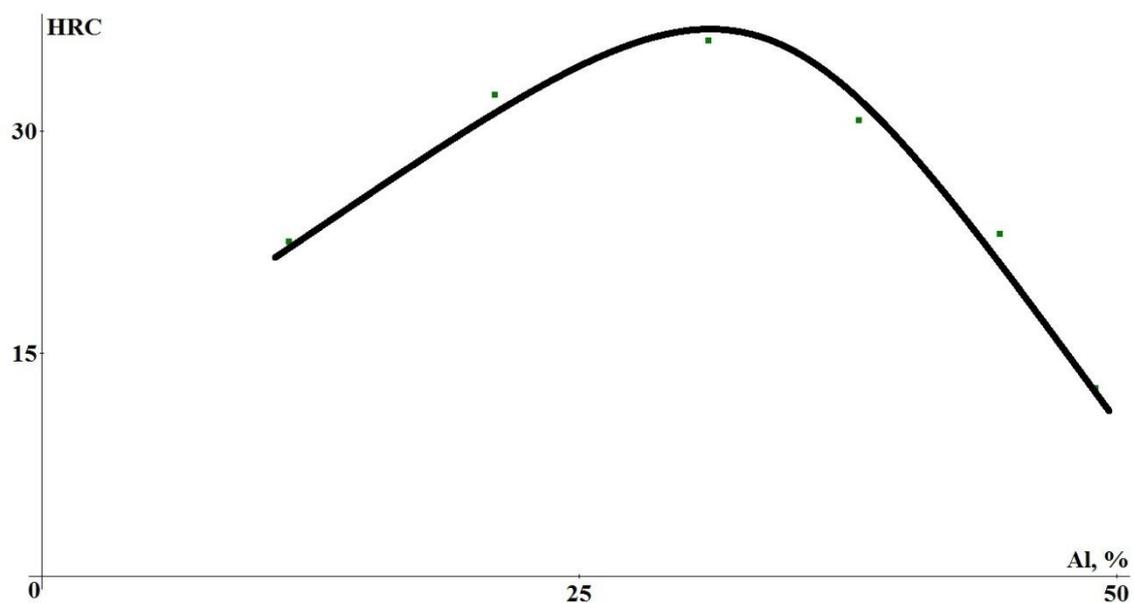


Рисунок 3.6 – Зависимость твердости наплавленного металла от содержания алюминия

3.1.5 Износостойкость

Максимальная износостойкость наблюдалась в образцах с содержанием алюминия 20–25% и составляла около 3,5. Дальнейшее увеличение алюминия снижает износостойкость вследствие хрупкого выкрашивания наплавленного металла при абразивном изнашивании образцов (рис. 3.7)

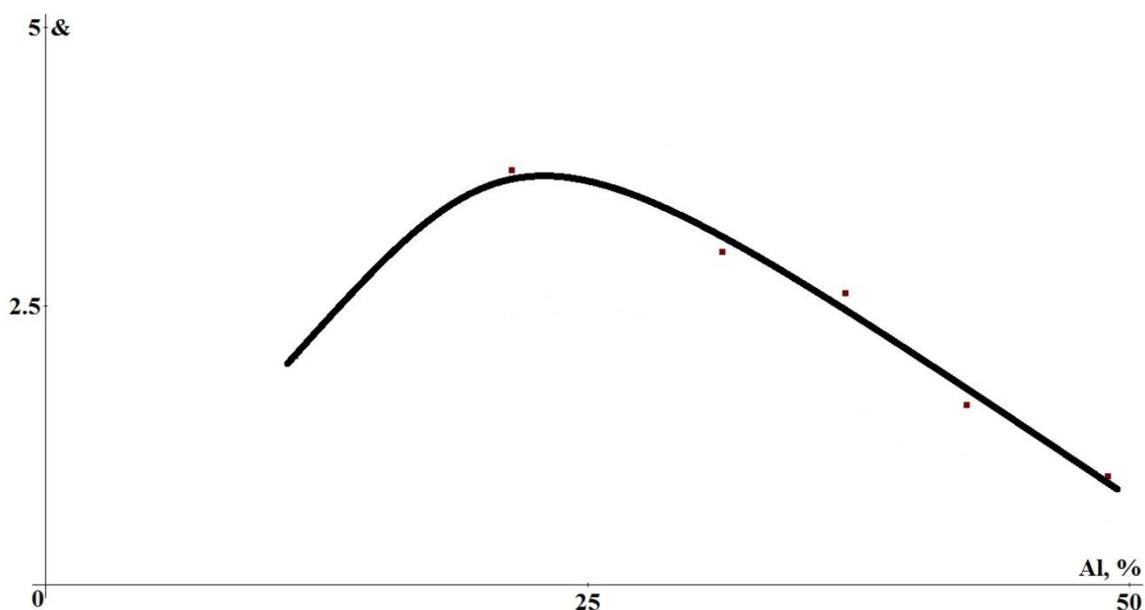


Рисунок 3.7 - Зависимость износостойкости наплавленного металла

отсодержания алюминия

3.2 Результаты исследований сплавов на основе Ti-Ak5

3.2.1 Геометрические параметры

Режимы наплавки интерметаллидов на основе Ti-Ak5 было предложено использовать на основе ранее проведенных исследований сплавов Ti-Al.

После проведения всех испытаний были установлены следующие геометрические параметры образцов (таблица 3.3)

Таблица 3.3 – Геометрические параметры наплавленных образцов

№ Образца	Ширина шва (l), мм	Высота шва (h), мм	Проплавление (e), мм
1	12,05	1	4,8
2	18	2,46	5,06
3	16,94	2,22	4,72
4	18,94	2,94	3,76
5	15,7	2,2	3,3
6	17,94	2,89	3,7
7	23	2	3,9
8	14,76	1,63	4,5
9	14,73	1,68	3,52
10	17,68	2,12	3,12

Внешний вид наплавленного образца представлен на рисунке 3.8



Рисунок 3.8 - Внешний вид наплавленного образца №2

Проведенные исследования показали, что при выбранных режимах наплавки формировался валик со стабильными геометрическими параметрами.

3.2.2 Химический состав

Среднее содержание алюминия в наплавленном валике в зависимости от режимов наплавки составляло от 10,4 до 39,2 %

На рисунках 3.9 представлен график химического состава по сечению шва.

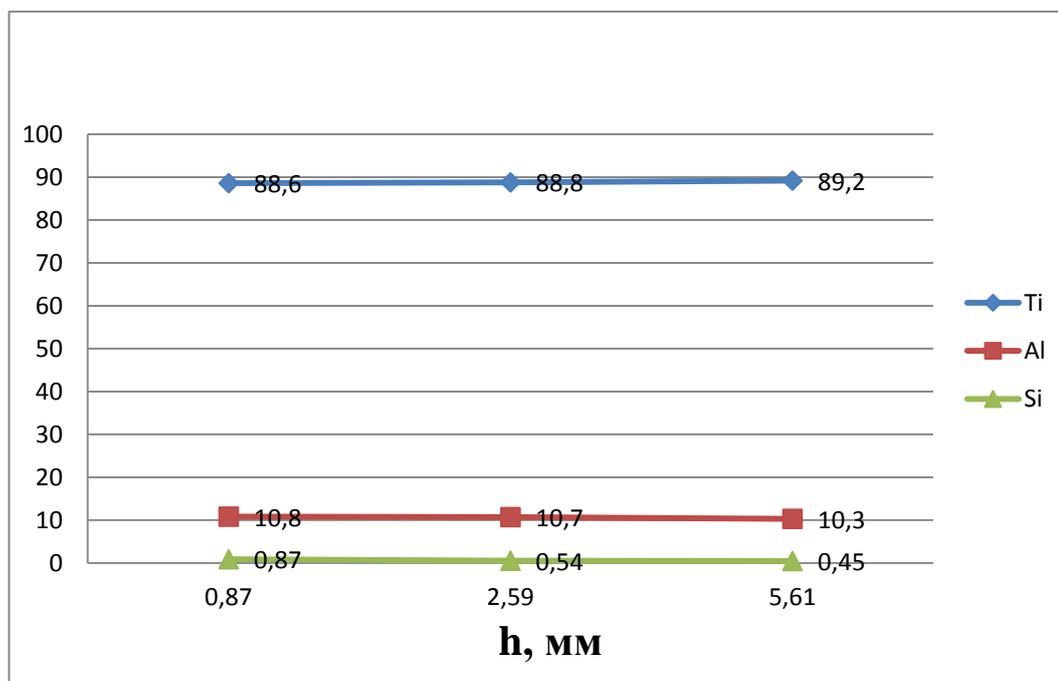


Рисунок 3.9 – График процентного содержания элементов по сечению наплавленного покрытия №1

Рассматривая графики процентного содержания элементов по сечению наплавленного покрытия можно сделать вывод, что неоднородность химического состава наплавленных валиков не превышает 5%.

3.2.3 Жаростойкость

Исследования жаростойкости при выдержки в течение 1250 часов при температуре 800 °С показали, что потеря массы наплавленных образцов с содержанием алюминия 20,5 % не превышала 2 % а с содержанием алюминия 35% более 16%. [11]

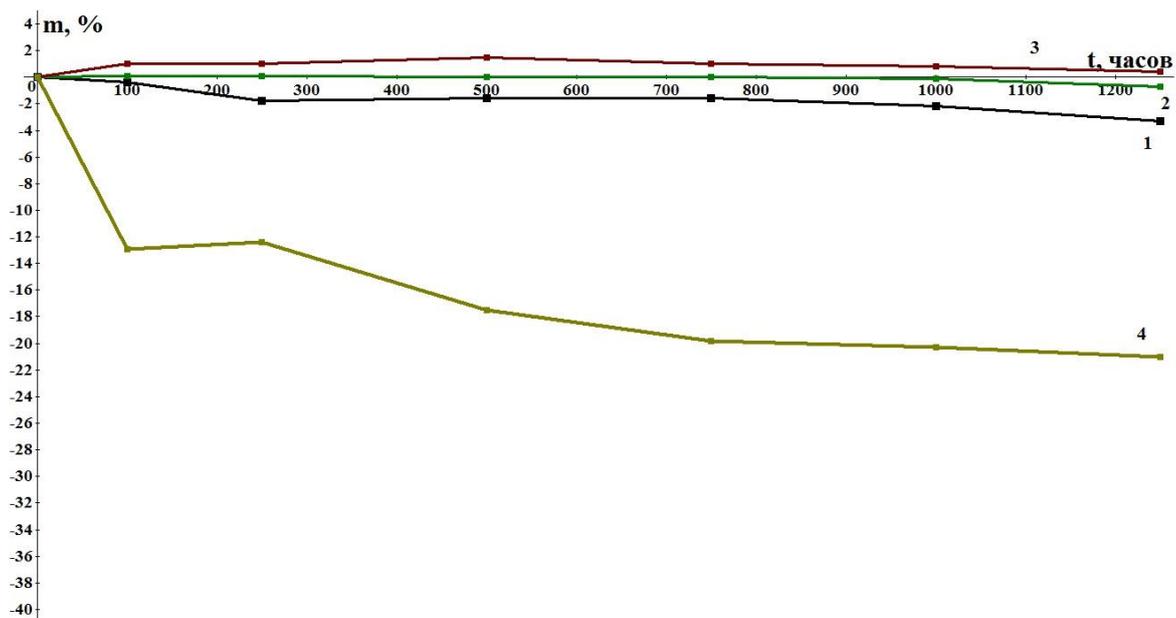


Рисунок 3.10 - Жаростойкость образцов 1, 2, 3, 4

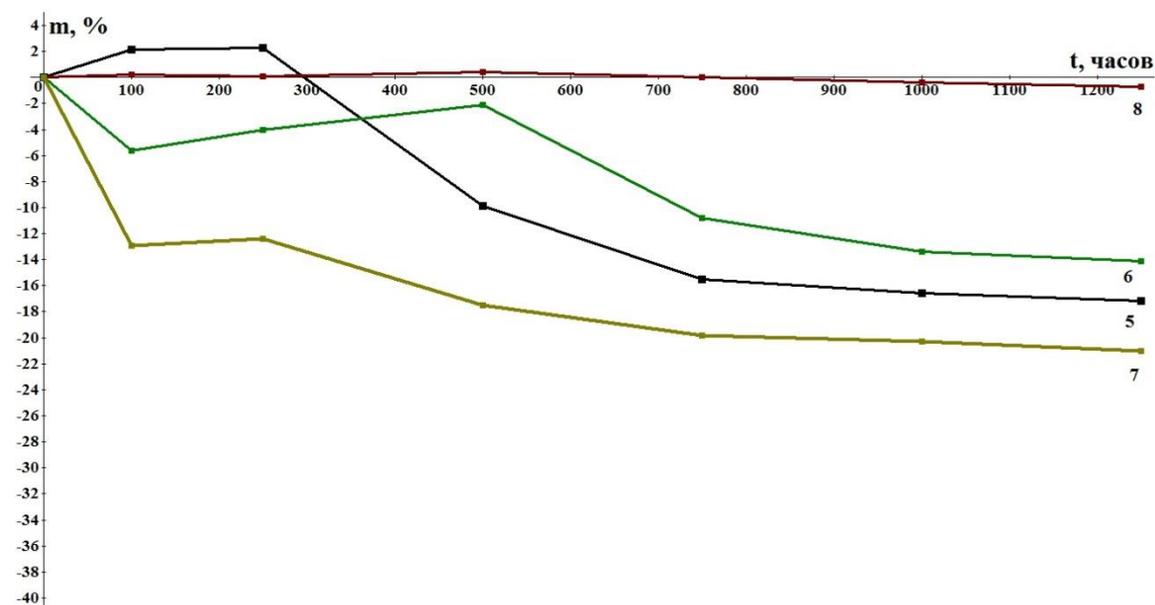


Рисунок 3.11 - Жаростойкость образцов 5, 6, 7, 8

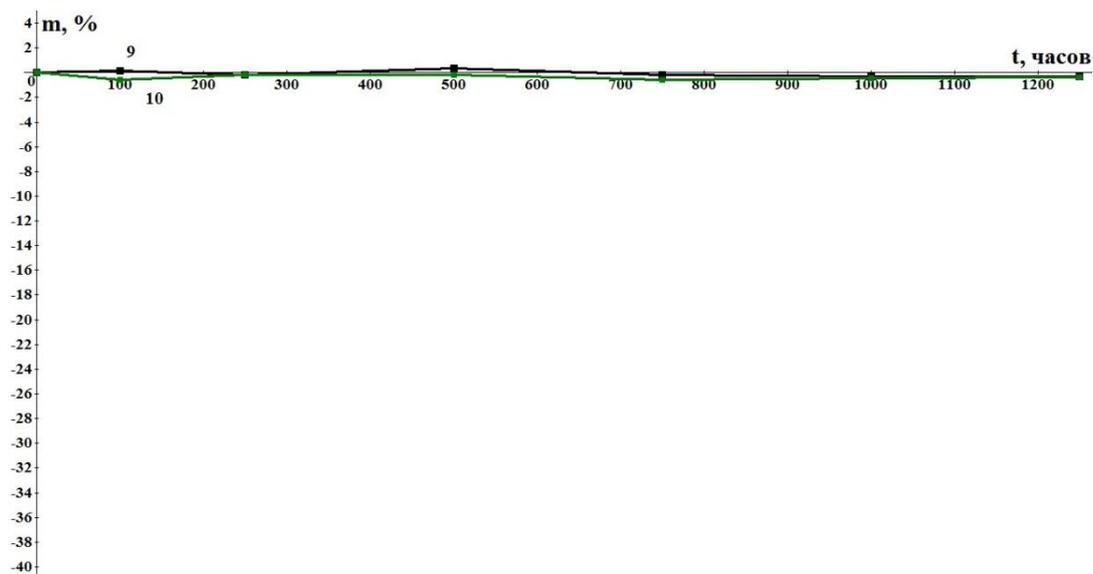


Рисунок 3.12 - Жаростойкость образцов 9, 10

На основе полученных данных можно сделать вывод, что с повышением содержания алюминия жаростойкость наплавленных покрытий уменьшается.

3.2.4 Износостойкость

Величина относительной износостойкости наплавленных валиков находится в пределах от 1,5 до 9 единиц. Повышение содержания алюминия с 10% до 23% способствовало повышению износостойкости наплавленного металла (рис. 3.13). Дальнейшее увеличение алюминия снижает износостойкость вследствие хрупкого выкрашивания наплавленного металла при абразивном изнашивании образцов.

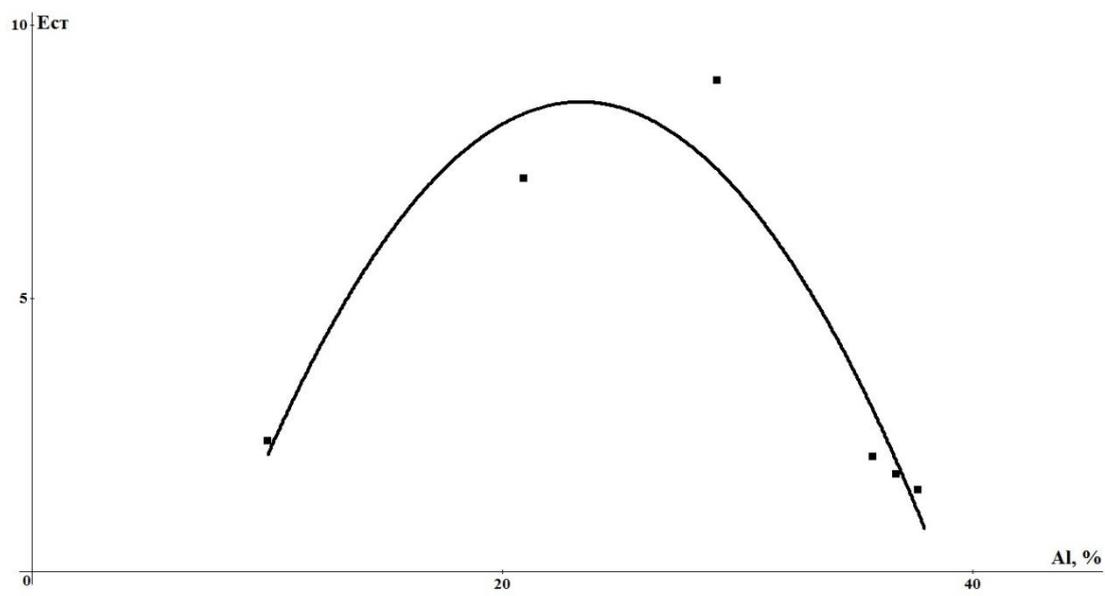


Рисунок 3.13 - Зависимость износостойкости наплавленного металла от содержания алюминия

3.2.5 Твердость

Твердость наплавленного валика изменялась в пределах 12–40 HRC. Повышение содержания алюминия с 12,6% до 30% способствовало повышению твердости наплавленного металла (рис. 3.14). Дальнейшее увеличение содержания алюминия приводит к снижению твердости, что связано с увеличением содержания в структуре металла $\gamma(\text{TiAl})$ -фазы.

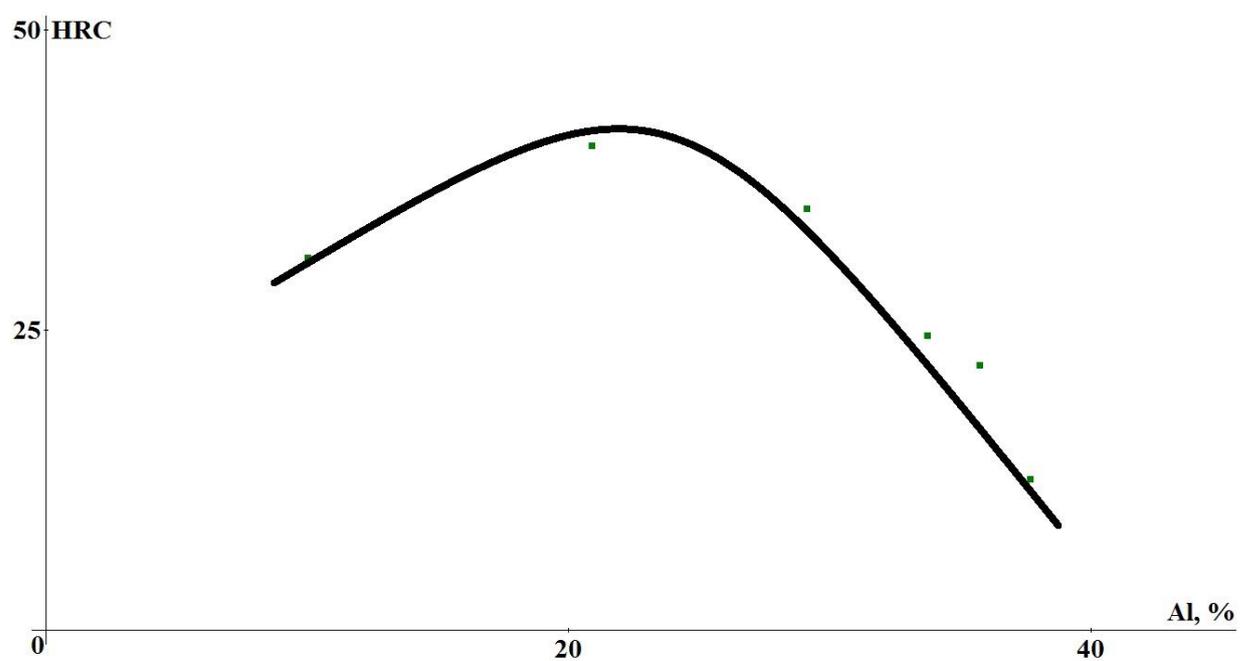


Рисунок 3.14 – Зависимость твердости наплавленного металла от содержания алюминия

3.3 Результаты исследований сплавов на основе Ti-AMц

3.3.1 Геометрические параметры

Режимы наплавки интерметаллидов на основе Ti-AMц было предложено использовать на основе ранее проведенных исследований сплавов Ti-Al.

В результате проведения всей серии опытов были установлены следующие геометрические параметры образцов (таблица 3.4)

Таблица 3.4 – Геометрические параметры наплавленных образцов

№ Образца	Ширина шва (l), мм	Высота шва (h), мм	Проплавление (e), мм
1	16,8	1	3,75
2	16,1	1,7	4,05
3	18,1	2,4	4,1
4	16,5	2,8	3,8
5	17,6	2,8	2,8
6	20,7	4,17	2,7
7	21,8	2,6	4,11
8	14,88	2,11	4,05
9	19,4	2,05	5,11
10	15,78	1,68	3,2

Внешний вид наплавленного образца представлен на рисунке 3.15



Рисунок 3.15 - Внешний вид наплавленного образца №7

3.3.2 Химический состав

Среднее содержание алюминия в наплавленном валике в зависимости от режимов наплавки составляло от 14,9 до 47 %

На рисунке 3.16 представлен график химического состава по сечению шва.

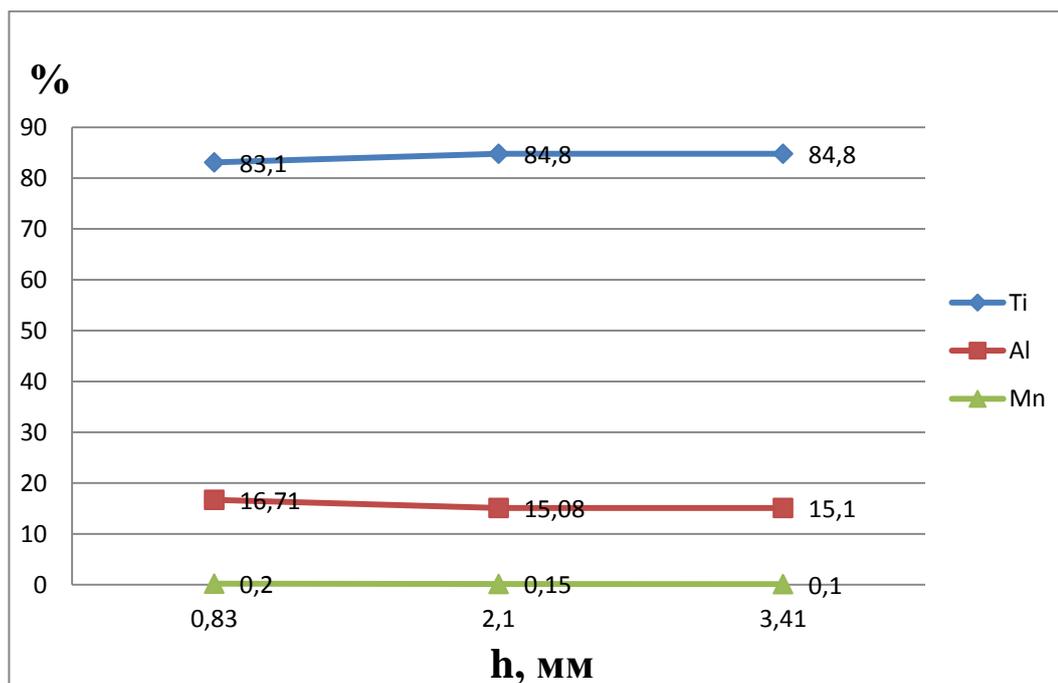


Рисунок 3.16 – График процентного содержания элементов по сечению наплавленного покрытия №1

Рассматривая графики процентного содержания элементов по сечению наплавленного покрытия можно сделать вывод, что неоднородность химического состава наплавленных валиков не превышает 5%.

3.3.3 Износостойкость

Величина относительной износостойкости наплавленных валиков находится в пределах от 1 до 7 единиц. Повышение содержания алюминия с 15% до 22,5% способствовало повышению износостойкости наплавленного

металла (рис. 3.17). Дальнейшее увеличение алюминия снижает износостойкость вследствие хрупкого выкрашивания наплавленного металла при абразивном изнашивании образцов.

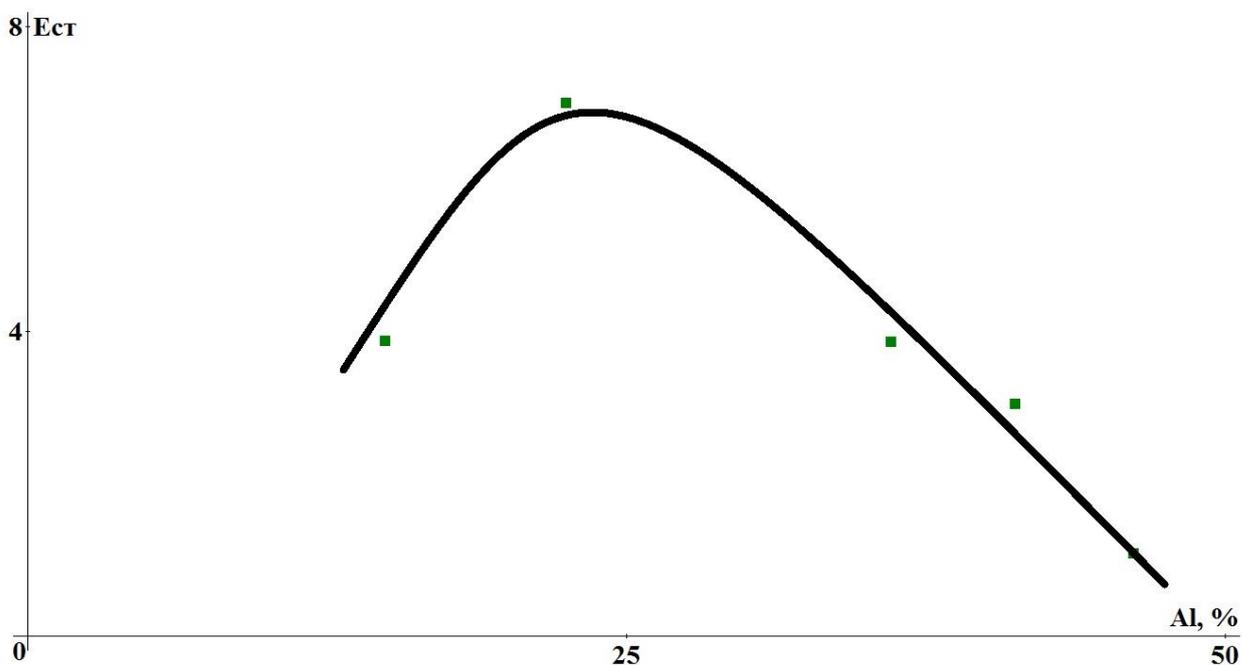


Рисунок 3.17 - Зависимость износостойкости наплавленного металла от содержания алюминия

3.3.4 Твердость

Твердость наплавленного валика изменялась в пределах 12–36 HRC. Повышение содержания алюминия с 15% до 25% способствовало повышению твердости наплавленного металла. Дальнейшее увеличение содержания алюминия приводит к снижению твердости, что связано с увеличением содержания в структуре металла $\gamma(\text{TiAl})$ -фазы. (рис. 3.18).

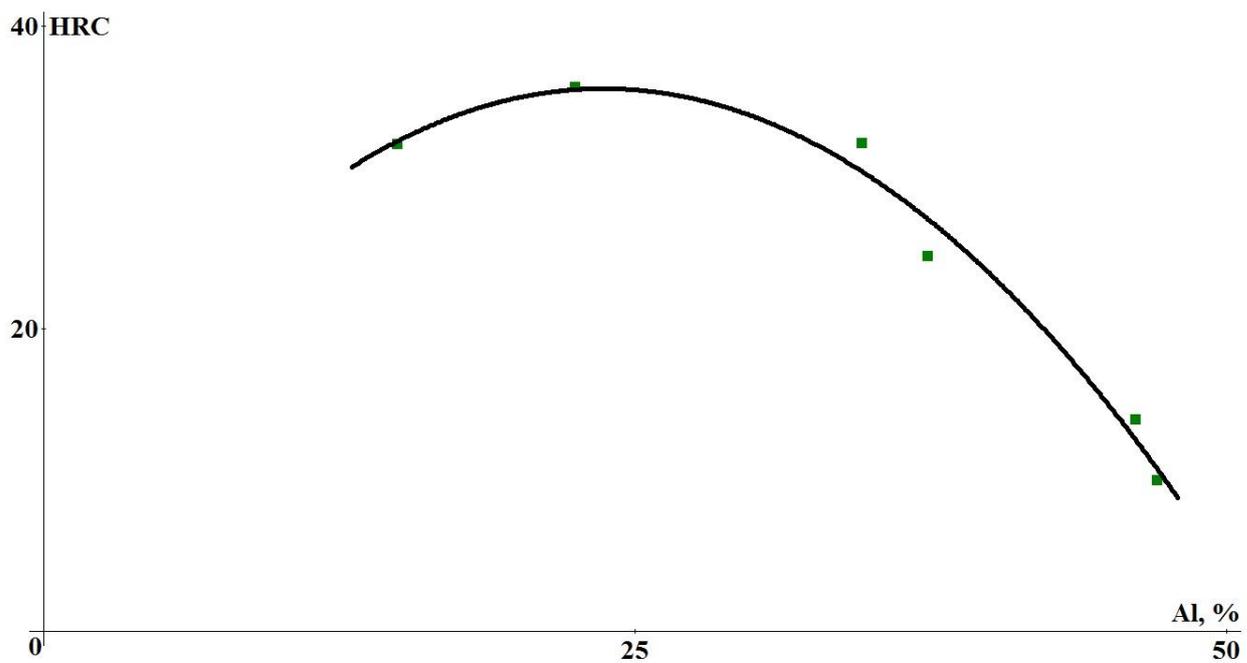


Рисунок 3.18 – Зависимость твердости наплавленного металла от содержания алюминия

4.Безопасность и технологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс направки титано- алюминиевых интерметалли- дных сплавов	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1		разметка	разметчик	стол	линейка, маркер
2		рубка	слесарь	гильотина	лист металла
3		очистка	слесарь	шлифмашина	ветошь, очищающее средство
4		наплавка	электросварщик	наплавочная установка	защитный газ Ar, присадочная алюминиевая проволока, титановая пластина
5		контроль	контролер	набор для ВИК	увеличительное стекло

4.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков[14]

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
1	2	3	4
1	рубка	подвижные части производственного оборудования	гильотина
2	очистка	повышенный уровень шума на рабочем месте	шлифмашинка
3	наплавка	повышенная загазованность	наплавочная установка

4.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Таблица 4.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов [13, 26]

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	2	3	4
1	подвижные части производственного оборудования	Защитный кожух, сигнальные надписи	кольчужные перчатки
2	повышенный уровень шума на рабочем месте	Инструктаж по охране труда	защитные очки, беруши
3	поражение электрическим током, яркое световое излучение, повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	исправный электрододержатель маска сварщика, не перебитый электропровод, исправная вытяжка	светофильтр С-4, брезентовые рукавицы, респиратор

4.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара[12]

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5	6
1	Механический участок	гильотина FASTI	Е	пламя и искры	вынос высокого электрического напряжения на токопроводящие части
1	2	3	4	5	6
2	Наплавочный участок	Наплавочная установка	Е	снижение видимости в дыму (задымленных пространственных зонах).	Замыкание высокого электрического напряжения на токопроводящие части

Таблица 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили или (вызываются)	Установка водяного тушения	Системы передачи извещений о пожаре	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности[13]

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Исследование процессов наплавки титано-алюминиевых интерметаллидных сплавов	надзор во время работы	определен порядок обесточивания электрооборудования в случае пожара и по окончании рабочего дня
	работа в электроустановках производится по распоряжению, в порядке текущей эксплуатации	определен порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно -техническому минимуму

4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Исследование процессов наплавки титано-алюминиевых интерметаллидных сплавов	очистка		очищающее средство	
	наплавка	газы выделяющиеся при сварке		Окислы на поверхности наплавленного валика

Таблица 4.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду [14,15]

Наименование технического объекта	Исследование процессов наплавки титано-алюминиевых интерметаллидных сплавов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Использование принудительной вытяжной вентиляции с фильтрами, Установить гигиенический норматив качества атмосферного воздуха - критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Специальный контейнер для хранения и дальнейшая утилизация шлака после наплавки, в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды. Составление паспорта отходов - документ, удостоверяющий принадлежность отходов к отходам соответствующего вида и класса опасности, содержащий сведения об их составе

Заключение по разделу «Безопасность и экологичность технического объекта».

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса наплавки титано-алюминиевых интерметаллидных сплавов, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия (таблица 4.1).

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу наплавки титано-алюминиевых интерметаллидных сплавов, выполняемым технологическим

операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие: поражение глаз, повышенный уровень шума на рабочем месте, поражение электрическим током, яркое световое излучение и загазованность воздуха рабочей зоны.

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков: использовать защитный кожух, беруши. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников (таблица 4.3).

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 4.4). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 4.5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 4.6).

5. Идентифицированы экологические факторы (таблица 4.7) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 4.8).

5 Экономическое обоснование проекта

5.1. Расчет трудоемкости проведения НИР

Организационно-экономическое обоснование данной научно-исследовательской работы заключается в следующем:

1. Определение трудоемкости и длительности проводимых работ.
2. Составление линейного плана-графика выполнения НИР на протяжении всего процесса исследования.
3. Расчет предпроизводственных (текущих), капитальных и приведенных (полных) затрат, необходимых для проведения данной работы.
4. Расчет экономической эффективности внедрения НИР.[23]

Работы, осуществляемые в процессе исследования, разбиваются на определенные стадии и этапы и сводятся в таблицу.

Таблица 5.1 – Наименование стадий и содержание этапов НИР:

№ стадии	Наименование стадии НИР	№ этапа	Содержание этапов работы
1.	Ознакомление с существующими методами нанесения жаростойких покрытий системы А1.	1.1. 1.2. 1.3. 1.4. 1.5.	Составление плана НИР Расчет плановой сметы предпроизводственных затрат. Ознакомление с методами механических испытаний наплавленных покрытий. Ознакомление с существующими методами исследования химического состава наплавленных покрытий. Ознакомление с существующими методами исследования эксплуатационных свойств наплавленных покрытий.
2.	Подготовка к проведению экспериментов.	2.1. 2.2. 2.3. 2.4. 2.5.	Разработка конструкции механизма для аргонодуговой наплавки. Изготовление механизма и его монтаж. Опробование работы на механизме для аргонодуговой наплавки. Доработка конструкции механизма Составление программы исследований.
3.	Проведение экспериментов и их анализ.	3.1. 3.2. 3.3.	Исследование процессов наплавки. Исследование свойств наплавленных покрытий. Построение графиков результатов проведенных исследований.
4.	Оформление	4.1.	Оформление и согласование отчетов.

	результатов НИР.	4.2.	Составление фактического графика работ и анализ причин его отклонения от плана.
		4.3.	Расчет фактических производственных, предпроизводственных (текущих) затрат.
		4.4.	Определение непроизводственных затрат (резервов времени).

Ожидаемая трудоемкость выполнения каждого этапа работы определяется по эмпирической формуле (дни)[21]

$$T_{\text{ож}} = \frac{3T_{\text{min}} + 2T_{\text{max}}}{5} \text{ (дн.)} \quad (5.1)$$

$$1.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8 \text{ дн}$$

$$1.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 8}{5} = 7,4 \text{ дн}$$

$$1.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 9}{5} = 7,2 \text{ дн}$$

$$1.4 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 14}{5} = 11,6 \text{ дн}$$

$$1.5 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 17}{5} = 15,8 \text{ дн}$$

$$2.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 9 + 2 \cdot 10}{5} = 9,4 \text{ дн}$$

$$2.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 16 + 2 \cdot 18}{5} = 16,8 \text{ дн}$$

$$2.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 9}{5} = 7,2 \text{ дн}$$

$$2.4 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 9 + 2 \cdot 12}{5} = 10,2 \text{ дн}$$

$$2.5 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 9}{5} = 7,8 \text{ дн}$$

$$3.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 15}{5} = 12 \text{ дн}$$

$$3.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 18 + 2 \cdot 23}{5} = 20 \text{ дн}$$

$$3.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 15}{5} = 12 \text{ дн}$$

$$4.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 25}{5} = 16 \text{ дн}$$

$$4.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 9}{5} = 7,8 \text{ дн}$$

$$4.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2 \text{ дн}$$

$$4.4 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8 \text{ дн}$$

где T_{\min} — оптимистическая (наименьшая) трудоемкость;

T_{\max} — пессимистическая (наибольшая) трудоемкость;

Определяется длительность каждого этапа работ (дни).[22]

$$T_{\text{эт}} = \frac{T_{\text{ож}}}{\text{Ч}} \text{ (дн.)}, \quad (5.2)$$

$$1.1 \ T_{\text{эт}} = \frac{5,8}{2} = 2,9 \text{ дн} \approx 3 \text{ дн}$$

$$1.2 \ T_{\text{эт}} = \frac{7,4}{2} = 3,7 \text{ дн} \approx 4 \text{ дн}$$

$$1.3 \ T_{\text{эт}} = \frac{7,2}{2} = 3,6 \text{ дн} \approx 4 \text{ дн}$$

$$1.4 \ T_{\text{эт}} = \frac{11,6}{2} = 5,8 \text{ дн} \approx 6 \text{ дн}$$

$$1.5 \ T_{\text{эт}} = \frac{15,8}{2} = 7,9 \text{ дн} \approx 8 \text{ дн}$$

$$2.1 \ T_{\text{эт}} = \frac{9,4}{2} = 4,7 \text{ дн} \approx 5 \text{ дн}$$

$$2.2 \ T_{\text{эт}} = \frac{16,8}{2} = 8,4 \text{ дн} \approx 9 \text{ дн}$$

$$2.3 \ T_{\text{эт}} = \frac{7,2}{2} = 3,6 \text{ дн} \approx 4 \text{ дн}$$

$$2.4 \ T_{\text{эт}} = \frac{10,2}{2} = 5,1 \text{ дн} \approx 6 \text{ дн}$$

$$2.5 \ T_{\text{эт}} = \frac{7,8}{2} = 3,9 \text{ дн} \approx 4 \text{ дн}$$

$$3.1 \ T_{\text{эт}} = \frac{12}{2} = 6 \text{ дн} \approx 6 \text{ дн}$$

$$3.2 \ T_{\text{эт}} = \frac{20}{2} = 10 \text{ дн} \approx 10 \text{ дн}$$

$$3.3 \ T_{\text{эт}} = \frac{12}{2} = 6 \text{ дн} \approx 6 \text{ дн}$$

$$4.1 \ T_{\text{эт}} = \frac{16}{2} = 8 \text{ дн} \approx 8 \text{ дн}$$

$$4.2 \ T_{\text{эт}} = \frac{7,8}{2} = 3,9 \text{ дн} \approx 4 \text{ дн}$$

$$4.3 \ T_{\text{эт}} = \frac{4,2}{2} = 2,1 \text{ дн} \approx 3 \text{ дн}$$

$$4.4 \ T_{\text{эт}} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \text{ дн} \approx 3 \text{ дн}$$

где Ч – численность исполнителей на данном этапе

Суммарная длительность НИР:

$$T_{\text{нир}} = \sum T_{\text{эт}} = 3+4+4+6+8+5+9+4+6+4+6+10+6+8+4+3+3=93 \text{ дн}$$

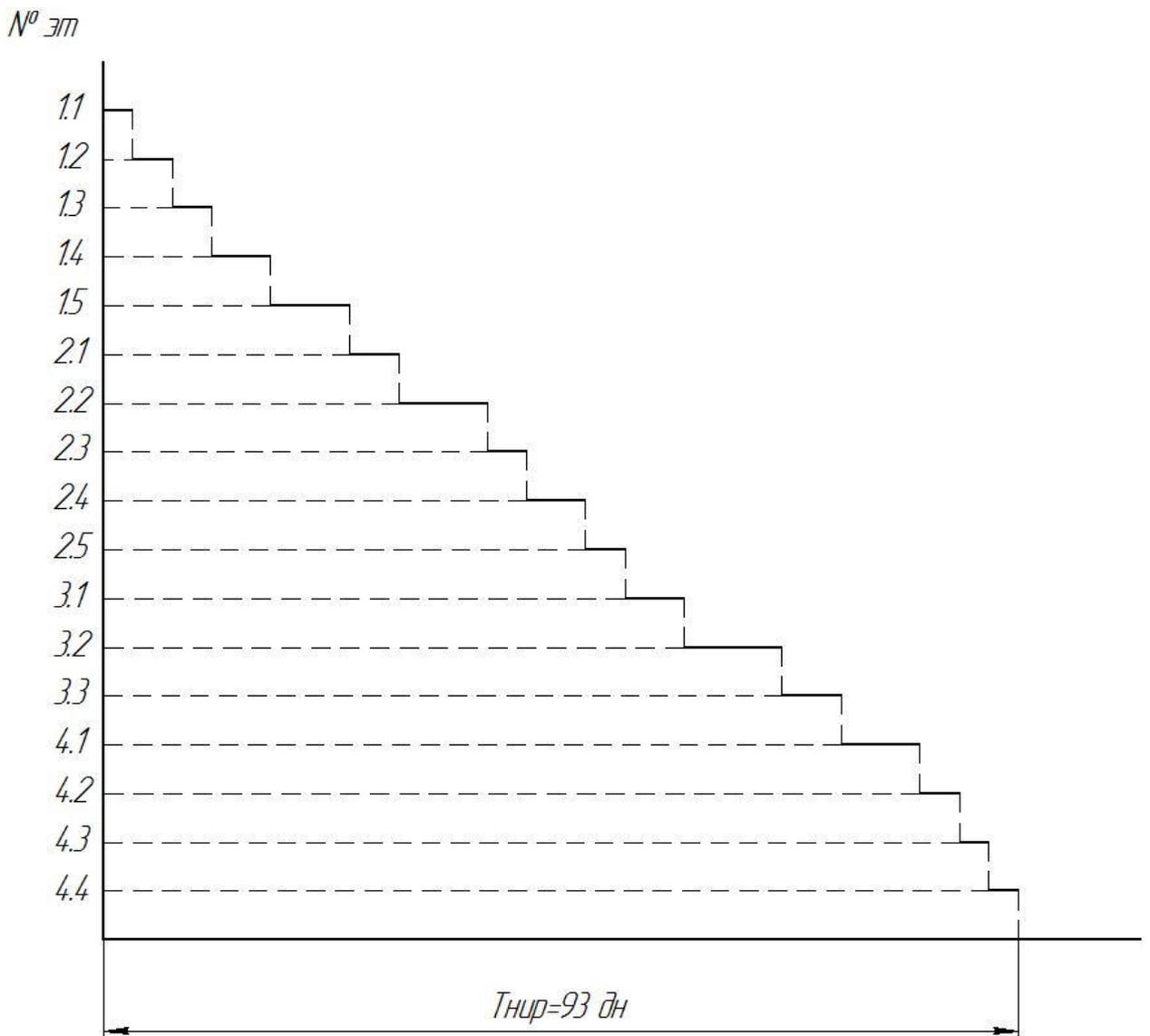


Рисунок 5.1 Линейный график НИР

Удельное значение каждого этапа рассчитываем по формуле:

$$У_{д.эт.} = \frac{T_{эт}}{T_{нир}} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

$$1.1 \quad У_{д.эт.} = \frac{3}{93} * 100\% = 3,22\%$$

$$1.2 \quad У_{д.эт.} = \frac{4}{93} * 100\% = 4,30\%$$

$$1.3 \quad У_{д.эт.} = \frac{4}{93} * 100\% = 4,30\%$$

$$1.4 \quad У_{д.эт.} = \frac{6}{93} * 100\% = 6,45\%$$

$$1.5 \quad У_{д.эт.} = \frac{8}{93} * 100\% = 8,60\%$$

$$2.1 \quad У_{д.эт.} = \frac{5}{93} * 100\% = 5,37\%$$

$$2.2 \quad У_{д.эт.} = \frac{9}{93} * 100\% = 9,67\%$$

$$2.3 \quad У_{д.эт.} = \frac{4}{93} * 100\% = 4,30\%$$

$$2.4 U_{д.эт.} = \frac{6}{93} * 100\% = 6,45\%$$

$$2.5 U_{д.эт.} = \frac{4}{93} * 100\% = 4,30\%$$

$$3.1 U_{д.эт.} = \frac{6}{93} * 100\% = 6,45\%$$

$$3.2 U_{д.эт.} = \frac{10}{93} * 100\% = 10,75\%$$

$$3.3 U_{д.эт.} = \frac{6}{93} * 100\% = 6,45\%$$

$$4.1 U_{д.эт.} = \frac{8}{93} * 100\% = 8,60\%$$

$$4.2 U_{д.эт.} = \frac{4}{93} * 100\% = 4,30\%$$

$$4.3 U_{д.эт.} = \frac{3}{93} * 100\% = 3,22\%$$

$$4.4 U_{д.эт.} = \frac{3}{93} * 100\% = 3,22\%$$

Таблица 5.2 - Сводная таблица результатов расчетов

№ п/п	Удельное значение этапа %	Нарастание технической готовности	Ожидаемая трудоемкость (дн.)	Количество одновременно работающих	Длительность этапа, T _{эт}
1.1	3,22	3,22	5,8	2	3
1.2	4,30	7,52	7,4	2	4
1.3	4,30	11,82	7,2	2	4
1.4	6,45	18,27	11,6	2	6
1.5	8,60	26,87	15,8	2	8
2.1	5,37	32,24	9,4	2	5
2.2	9,67	41,91	16,8	2	9
2.3	4,30	46,21	7,2	2	4
2.4	6,45	52,66	10,2	2	6
2.5	4,30	56,96	7,8	2	4
3.1	6,45	63,41	12	2	14
3.2	10,75	74,16	20	2	21
3.3	6,45	80,61	12	2	6
4.1	8,60	89,61	16	2	12
4.2	4,30	93,51	7,8	2	4
4.3	3,22	96,73	4,2	2	3
4.4	3,22	99,95	4,8	2	3

5.2. Сетевое планирование проведения НИР

Таблица 5.3 Перечень событий и работ .[24]

№ События	Перечень работ	Шифр работ	Продолжительность работы (дни)
0	Решение о проведении НИР		
1	Составление плана НИР и расчет плановой сметы пред производственных затрат.	0-1	3
2	Ознакомление с существующими методами механических испытаний.	1-2	4
	Ознакомление с существующими методами исследования эксплуатационных свойств и с методами исследования химического состава наплавленных покрытий.	2-3	18
3	Разработка конструкции механизма для аргонодуговой наплавки	0-3	5
4	Изготовление механизма и его монтаж	3-4	9
	Опробование работы на механизме для аргонодуговой наплавки и составление программы исследований	4-6	14
5	Исследование процессов наплавки	4-5	14
6	Исследование свойств наплавленных покрытий	5-6	21
7	Построение графиков результатов проведенных исследований, их анализ и формулировка выводов и рекомендаций	6-7	20

8	Оформление результатов НИР	7-8	22
---	----------------------------	-----	----

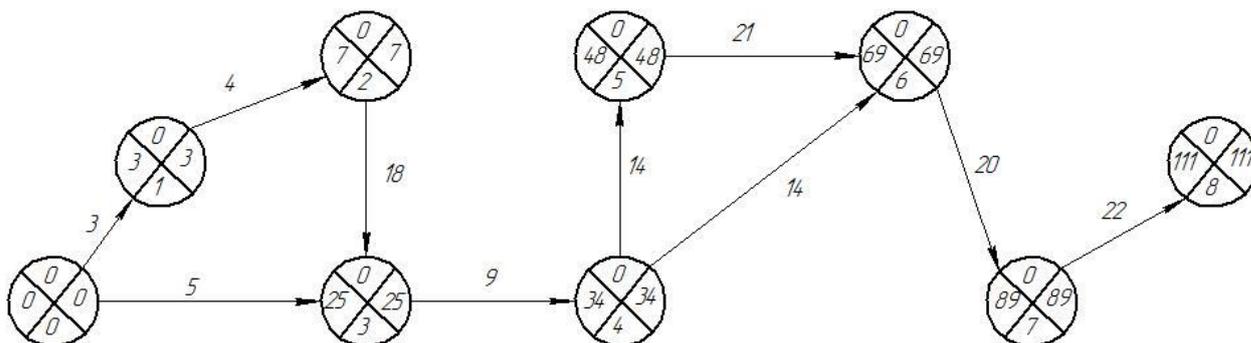


Рисунок 5.2 – Сетевой график комплекса работ по проведению НИР.

1. Рассчитываем длительности путей сетевого графика.

$$T_1 = 0 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 = 5 + 9 + 14 + 20 + 22 = 70 \text{ дней}$$

$$T_2 = 0 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 = 5 + 9 + 14 + 21 + 20 + 22 = 91 \text{ день}$$

$$T_3 = 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8$$

$$= 3 + 4 + 18 + 9 + 14 + 21 + 20 + 22 = 111 \text{ дней}$$

$$T_4 = 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 = 3 + 4 + 18 + 9 + 14 + 20 + 22$$

$$= 90 \text{ дней}$$

T_3 – критический путь;

T_2 – подкритический путь;

T_1 – ненапряженный путь;

T_4 – ненапряженный путь;

2. Рассчитываем свободные резервы путей сетевого графика. [25]

От критического пути отнимается продолжительность пути, свободный резерв которого рассчитывается.

$$R_{T_1} = T_3 - T_1 = 111 - 70 = 41 \text{ дней}$$

$$R_{T_2} = T_3 - T_2 = 111 - 91 = 20 \text{ дней}$$

$$R_{T_3} = T_3 - T_4 = 111 - 90 = 21 \text{ день}$$

$$R_{T_4} = 0$$

3. Рассчитываем ранние сроки свершения событий.

К раннему сроку предыдущего события добавляем длительность работы и получаем ранний срок последующего события. Если в событие входит несколько работ, то проставляется максимальное значение.

4. Рассчитываем поздние сроки свершения событий.

Поздний срок свершения предыдущего события рассчитывается вычитанием из позднего срока последующего события длительности работы. Если в событии начинаются несколько работ, то проставляется минимальное значение.

5. Рассчитываем свободные резервы событий.

Из позднего срока свершения событий вычитается ранний срок свершения события.

6. Рассчитываем свободные резервы работ, не лежащих на критическом пути.

7. Рассчитываем полные резервы.

От позднего срока свершения последующего события вычитается ранний срок предыдущего события и длительность работы.

$$R_{0-1}=3-0-3=0$$

$$R_{1-2}=7-3-4=0$$

$$R_{2-3}=25-7-18=0$$

$$R_{0-3}=25-0-5=20$$

$$R_{3-4}=34-25-9=0$$

$$R_{4-6}=69-34-14=21$$

$$R_{4-5}=48-34-14=0$$

$$R_{5-6}=69-48-21=0$$

$$R_{6-7}=89-69-20=0$$

$$R_{7-8}=111-89-22=0$$

8. Рассчитываем частные резервы первого вида.

Из позднего срока последующего события вычитается поздний срок предыдущего события и длительность работы.

$$R_{0-1}^{чI} = 3 - 0 - 3 = 0$$

$$R_{1-2}^{чI} = 7 - 3 - 4 = 0$$

$$R_{2-3}^{чI} = 25 - 7 - 18 = 0$$

$$R_{0-3}^{чI} = 25 - 0 - 5 = 20$$

$$R_{3-4}^{чI} = 34 - 25 - 9 = 0$$

$$R_{4-6}^{чI} = 69 - 34 - 14 = 21$$

$$R_{4-5}^{чI} = 48 - 34 - 14 = 0$$

$$R_{5-6}^{чI} = 69 - 48 - 21 = 0$$

$$R_{6-7}^{чI} = 89 - 69 - 20 = 0$$

$$R_{7-8}^{чI} = 111 - 89 - 22 = 0$$

9. Рассчитываем частные резервы второго вида.

Из раннего срока последующего события вычитается ранний срок предыдущего события и длительность работы.

$$R_{0-1}^{чII} = 3 - 0 - 3 = 0$$

$$R_{1-2}^{чII} = 7 - 3 - 4 = 0$$

$$R_{2-3}^{чII} = 25 - 7 - 18 = 0$$

$$R_{0-3}^{чII} = 25 - 0 - 5 = 20$$

$$R_{3-4}^{чII} = 34 - 25 - 9 = 0$$

$$R_{4-6}^{чII} = 69 - 34 - 14 = 21$$

$$R_{4-5}^{чII} = 48 - 34 - 14 = 0$$

$$R_{5-6}^{чII} = 69 - 48 - 21 = 0$$

$$R_{6-7}^{чII} = 89 - 69 - 20 = 0$$

$$R_{7-8}^{чII} = 111 - 89 - 22 = 0$$

Таблица 5.4 Сводная таблица параметров сетевого графика

Шифр работ	Продолжит.	Полные	Ч I	Ч II	№ события	Сроки		Свободные резервы событий
						Ранние	Поздние	
0-1	3	0	0	0	0	0	0	0
1-2	4	0	0	0	1	3	3	0
2-3	18	0	0	0	2	7	7	0
0-3	5	20	20	20	3	25	25	0
3-4	9	0	0	0	4	34	34	0
4-6	14	21	21	21	5	48	48	0
4-5	14	0	0	0	6	69	69	0
					7	89	89	0
5-6	21	0	0	0	8	111	111	0
6-7	20	0	0	0				
7-8	22	0	0	0				

Оптимизация сетевого графика.

Рассчитаем коэффициент напряженности путей.

$$K_{HT1} = \frac{T_1}{T_{кр}} = \frac{70}{111} = 0,63$$

$$K_{HT2} = \frac{T_2}{T_{кр}} = \frac{91}{111} = 0,82$$

$$K_{HT3} = \frac{T_3}{T_{кр}} = \frac{90}{111} = 0,81$$

Чтобы определить оптимальную продолжительность выполнения всего комплекса работ (если она не задана планом или условием), надо определить среднюю продолжительность всех путей графика. В нашем случае:

$$T_{\text{опт.}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} = \frac{70 + 91 + 111 + 90}{4} = 91 \text{ день}$$

Это теоретически самый короткий срок исполнения всего комплекса работ. Оптимизируя сетевой график, следует стремиться максимально, приблизиться к этой цифре.

Оптимизация проводится в один этап. Данные оптимизации заносятся в таблицу 5.5.

1 этап:

С пути Т3 работы 7-8 берем 20 дней и перемещаем на путь Т1 на работу 0-3

$T_1 = 90$ дней

$T_2 = 91$ дней

$T_3 = 91$ дней

$T_4 = 90$ дня

Таблица 5.5 Оптимизация первого варианта сетевого графика

Шифр путей	Первоначальная продолжительность путей, (дни)	Этапы оптимизации		Коэффициент напряженности путей после оптимизации
		Первый		
		Изменение	Результат	
T ₁	70	+20	90	0,98
T ₂	91	0	91	1
T ₃	111	-20	91	1
T ₄	90	0	90	0,98

Коэффициенты напряженности путей после оптимизации сетевого графика максимально приближены к единице:

$$K_{HT1} = \frac{T_1}{T_{кр}} = \frac{90}{91} = 0,98$$

$$K_{HT2} = \frac{T_2}{T_{кр}} = \frac{91}{91} = 1$$

$$K_{HT3} = \frac{T_3}{T_{кр}} = \frac{90}{91} = 0,98$$

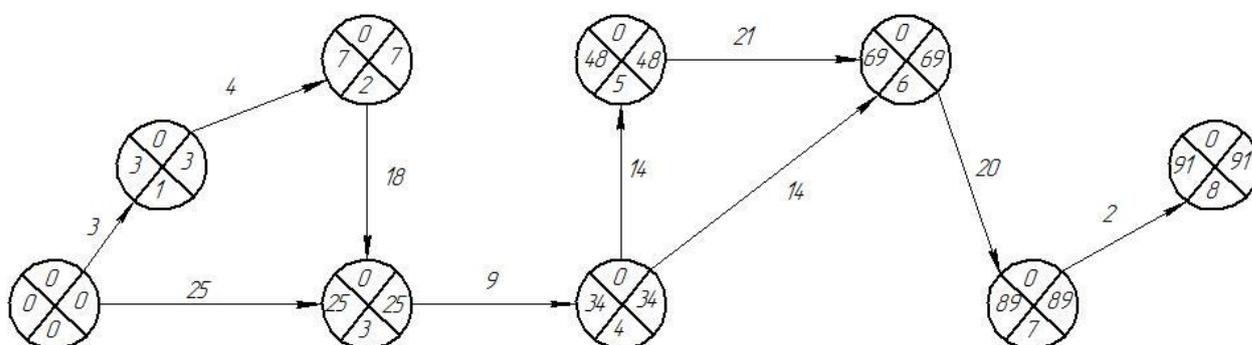


Рисунок 5.3 – Сетевой график планирования после оптимизации

5.3 Расчёт себестоимости проведения НИР

Расчет производственных затрат.

Для научно-исследовательской организации производственные затраты являются текущими.

Расчет текущих затрат на проведение данной НИР производится по следующей формуле:

$$Z_{тек} = 3М + \PhiЗП + O_{с.н.} + Z_{э-э} + Z_{об} + Z_{пр} + НР \quad (5.4)$$

$$Z_{тек} = 9471 + 214368 + 77172,48 + 33360 + 171,46 + 10718,4 + 117902,4 = 463163,74.$$

где:

3М – затраты на основные и вспомогательные материалы;

ФЗП – фонд заработной платы (основная и дополнительная заработная плата научно-технического персонала);

О_{с.н} – отчисления на социальные нужды;

З_{э-э} – затраты на электроэнергию для выполнения исследований;

З_{об} – затраты, связанные с эксплуатацией оборудования;

З_{пр} – прочие затраты, в которые входит аренда помещений, приобретение образцов или макетов (связанны со спецификой исследования);

НР – накладные расходы (расходы на оплату работы управленческого персонала и охрану труда).

Затраты на основной и вспомогательный материал

$$ЗМ = ЗМ_{осн} + ЗМ_{всп} = 9000 + 471 = 9471 \text{ руб.} \quad (5.5)$$

где:

ЗМ_{осн} – затраты на основной материал;

ЗМ_{всп} – затраты на вспомогательный материал.

Затраты на основной материал для выполнения НИР рассчитываются по формуле:

$$ЗМ_{осн} = N_p \times C_m \times U = 0,1 \times 3000 \times 30 = 9000 \text{ руб}$$

где:

N_p – норма расхода основного материала на один образец для испытаний, 0,1 кг ;

C_m – оптовая цена 1 кг основного материала, 3000 руб./кг;

U – количество образцов, испытанных по полной программе, 30 шт.

В данной НИР вспомогательным материалом является Al сварочная проволока, также вспомогательным материалом является защитный газ – Ar. Поэтому затраты на вспомогательный материал будут складываться из затрат на сварочную проволоку и на защитный газ.

$$ЗМ_{\text{всп.}} = ЗМ_{\text{св.пров.}} + З_{\text{з.г.}} = 147 + 324 = 471 \text{ руб.}$$

где:

$ЗМ_{\text{св.пров.}}$ - затраты на сварочную проволоку, руб.;

$З_{\text{з.г.}}$ - затраты на защитный газ, руб.

Затраты на сварочную проволоку рассчитываем по формуле:

$$ЗМ_{\text{св.пр.}} = Н_{\text{св.пр.}} \times Ц_{\text{св.пр.}} = 0,21 \times 700 = 147 \text{ руб.} \quad (5.6)$$

где:

$Н_{\text{св.пр.}}$ - норма расхода сварочной проволоки на один образец,

Al – 0,007 кг.;

$Ц_{\text{св.пр.}}$ - цена сварочной проволоки, руб. за 1 кг,

Al – 700 руб. за кг.

Затраты на защитный газ при сварке определяются по формуле:

$$З_{\text{з.г.}} = Н_{\text{з.г.}} \times Ц_{\text{з.г.}} = 18 \times 18 = 324 \text{ руб.} \quad (5.7)$$

где:

$Н_{\text{з.г.}}$ - норма расхода защитного газа на 1 погонный метр сварного шва, литр/мин;

$Ц_{\text{з.г.}}$ - цена защитного газа, (18 руб./литр).

Норму расхода защитных газов рассчитывают по формуле:

$$H_{з.г.} = Y_{з.г.} \times L_{ш} = 6,0 \times 3 = 18 \text{ литров на все образцы}$$

где:

$Y_{з.г.}$ - удельная норма расхода защитного газа на 1 погонный метр шва;

$L_{ш}$ - длина одного наплавленного валика, 0,1 м.

Удельную норму расхода защитного газа на 1 погонный метр сварного или наплавленного шва можно определить по формуле:

$$Y_{з.г.} = Q_{з.г.} \times t_{01} = 10 \times 0,600 = 6,0 \text{ литров}$$

где:

$Q_{з.г.}$ - норма расхода защитного газа при сварке в зависимости от вида сварки, 10 литр/мин,

t_{01} - основное (машинное) время сварки 1 погонного метра шва, 0,600 мин.

Затраты на заработную плату научно-технического персонала

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}} = 194880 + 19488 = 214368 \text{ руб.} \quad (5.8)$$

где:

$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}}$ - основная заработная плата научно-технического персонала;

$\text{ЗПЛ}_{\text{доп}}$ - дополнительная заработная плата научно-технического персонала.

Основная заработная плата вычисляется по формуле:

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = \Sigma T_{\text{раб}} \times C_{\text{д}} \times k_{\text{пр}} \times И =$$

$$116 \times 500 \times 1,4 \times 1 + 116 \times 700 \times 1,4 \times 1 = 194880 \text{ руб.}$$

где:

$\Sigma T_{\text{раб}}$ – суммарное время работы каждого участника НИР по всем этапам (в

днях);

C_d – дневная ставка каждого участника НИР, 1 инженер – 700 рублей, 2 студент 500 рублей;

$k_{пр}$ – коэффициент премиальных доплат (можно принять =1,4);

I – количество исполнителей на каждом этапе, 2 чел.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$ЗП_{доп} = 0,1 \times ЗП_{осн} = 0,1 \times 194880 = 19488 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды вычисляем по формуле:

$$O_{с.н.} = \frac{N_{соц.} \times ФЗП}{100} = \frac{36 \times 214368}{100} = 77172,48 \text{ руб.}$$

где:

$N_{соц.}$ – норма отчислений на социальные нужды = 36%.

Затраты на электроэнергию

Затраты на электрическую энергию для проведения испытаний:

$$Z_{э-э} = \frac{M_{об} \cdot t_{исп}}{\eta} \cdot Ц_{э-э} = \frac{2,2 \times 3000}{0,8} \times 4 + \frac{8 \times 9}{0,8} \times 4 = 33360 \text{ руб.} \quad (5.9)$$

где:

$M_{об}$ – мощность оборудования (2,2 кВт – печь и 8 кВт – полуавтомат для наплавки);

$t_{исп}$ – время проведения испытаний, 500 часов испытания в печи и 3 часа работы – наплавка.

η – коэффициент полезного действия оборудования (0,8);

$Ц_{э-э}$ – цена 1 кВт·часа электроэнергии = 4 руб.

Затраты, связанные с эксплуатацией оборудования

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 70,58 + 100,88 = 171,46 \text{ руб.} \quad (5.10)$$

$A_{об}$ – амортизационные отчисления, связанные с эксплуатацией оборудования;

$P_{т.р}$ – расходы на текущий ремонт оборудования;

Затраты на амортизацию оборудования определяем по формуле:

$$A_{об} = \Sigma Ц_{об} \times \frac{N_a \times t_{исп}}{\Phi_{эф} \times 100} = 100000 \times \frac{24 \times 3000}{1020 \cdot 100} = 70,58 \text{ руб.}$$

где:

N_a – норма амортизации по применяемому технологическому оборудованию, 24 %;

$\Sigma Ц_{об}$ – суммарная цена оборудования, необходимого для проведения испытаний, 100000 руб.;

$\Phi_{эф}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (можно принять равным 1020 часов);

$t_{исп}$ – время проведения испытаний, 3000 часа.

Расходы на текущий ремонт оборудования:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma Ц_{об.} \times N_{т.р} \times k_3}{100 \times \Phi_{эф}} = \frac{100000 \times 35 \times 2,94}{100 \cdot 1020} = 100,88 \text{ руб.}$$

где:

$N_{т.р}$ – норма отчислений на текущий ремонт оборудования (принимаем

равной 35%).

k_3 – коэффициент загрузки оборудования

$$k_3 = \frac{t_{\text{исп}}}{\Phi_{\text{эф}}} = \frac{3000}{1020} = 2,94$$

Прочие затраты, в которые входит аренда помещений, приобретение образцов или макетов (в зависимости от специфики исследования), принимаем в размере 5% от величины фонда заработной платы научно-технического персонала:

$$Z_{\text{пр}} = 0,05 \cdot \Phi_{\text{ЗП}} = 0,05 \times 214368 = 10718,4 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (расходы на оплату работы управленческого персонала и на охрану труда) принимаем в размере 55% от величины фонда заработной платы научно-технического персонала:

$$\text{НР} = 0,55 \cdot \Phi_{\text{ЗП}} = 0,55 \times 214368 = 117902,4 \text{ руб.}$$

Расчет капитальных затрат

Кроме текущих затрат, при проведении НИР имеют место капитальные затраты. К капитальным затратам относятся затраты на приобретение или создание оборудования, стендов, приборов, экспериментальных установок и других основных фондов.

Таблица 5.6 –Калькуляция затрат

№	Наименование затрат	Затраты, руб.
1.	Затраты на основной материал	9000
2.	Затраты на вспомогательный материал	471
3.	Фонд заработной платы	214368
4.	Отчисления на социальные нужды	77172,48
5.	Затраты на электрическую энергию	33,360
6.	Затраты связанные с эксплуатацией оборудования	171,46
7.	Прочие затраты	10718,4
8.	Накладные расходы	117902,4
		Сумма: 463163,74 рублей

Капитальные затраты рассчитываются по формуле:

$$K = \Sigma C_{\text{пр.об}} + \Sigma C_{\text{изг}} + P_{\text{т.м}} = 100000 + 6000 + 7000 = 113000 \text{ руб.} \quad (5.11)$$

где

$\Sigma C_{\text{пр.об}}$ – суммарная цена приобретенного оборудования, 100000руб.;

$\Sigma C_{\text{изг}}$ – суммарная цена изготовленного оборудования, 6000 руб.;

$P_{\text{т.м}}$ – затраты на транспортировку и монтаж оборудования, 7000руб.

Затраты на транспортировку оборудования принимаем:

$$P_{\text{т}} = 0,05 \cdot C_{\text{пр.об}} = 0,05 \times 100000 = 5000 \text{ руб.}$$

Затраты на монтаж оборудования принимаем:

$$P_{\text{м}} = 0,02 \cdot C_{\text{пр.об}} = 0,02 \times 100000 = 2000 \text{ руб.}$$

3.3. Расчет приведенных, т.е. общих затрат на проведение НИР

$$Z_{\text{прив}} = Z_{\text{тек}} + K = 463163,74 + 113000 = 576163,74 \text{ руб} \quad (5.12)$$

Выводы:

1. В данной работе были рассчитаны общие затраты на проведение НИР.
2. После проведения сетевого планирования были оптимизированы сроки выполнения работ, что привело к ускорению хода работ.

Заключение

1. Управляя режимами наплавки алюминиевой присадочной проволоки на поверхность титана можно формировать наплавленные слои на основе интерметаллидных сплавов различного фазового состава, имеющих различный комплекс механических и эксплуатационных свойств.

2. Проведенные исследования показали, что при выбранных режимах наплавки формировался валик со стабильными геометрическими параметрами. Ширина наплавленного валика составляла 13,7–23,5 мм, Высота наплавленного валика изменялась в пределах 1–4,5 мм, Глубина проплавления составляла 2,7–5,7 мм

3. Механические и эксплуатационные свойства наплавленных сплавов системы титан-алюминий определяются содержанием алюминия. Максимальная твердость и износостойкость наблюдается в сплавах с содержанием алюминия 20–30%.

4. С увеличением содержания алюминия повышается жаростойкость наплавленных сплавов системы Ti-Al. Исследования жаростойкости при выдержки в течение 1250 часов при температуре 800 °C показали, что потеря массы эталонного образца из титана составляла более 21,5%. Потеря массы наплавленных образцов с содержанием алюминия 20,5 % не превышала 11,9%, а с содержанием алюминия 35% не более 0,8%. В образцах с содержанием алюминия более 40% наблюдалось увеличение массы образцов, что связано с трудностью удаления оксидного слоя с поверхности образцов.

5. Комплекс механических свойств сплава системы Ti-Al был повышен с помощью дополнительного легирования кремнием. В качестве материала была использована присадочная проволока АК5. Испытания показали, что твердость наплавленных образцов легированных кремнием достигает 57 HRC, тогда как с применением присадочной проволоки из технически чистого алюминия и присадочной проволоки АМц твердость образцов не превышает 38HRC.

6. Относительная износостойкость находится в пределах 1-10. Максимальные значения наблюдаются при расходе Al-проволоки около 2 м/мин, что соответствует содержанию Al в наплавленном валике – 15-20%. Дальнейшее увеличение содержания алюминия снижает трещиностойкость наплавленного металла, что приводит к появлению холодных трещин и, вследствие этого, в процессе абразивного износа интенсивно выкрашивается наплавленный металл, что уменьшает значения относительной износостойкости

Износостойкость образцов легированных кремнием возросла почти в 3 раза по отношению к образцам, где применялась присадочная проволока из чистого алюминия. Образцы легированные марганцем имеют такую же твердость, что и образцы из чистого алюминия, но по износостойкости близки к сплаву Ti-АК5.

7. В разделе безопасность и экологичность определены вредные факторы воздействующие на человека и окружающую среду. Определены пожароопасные факторы и способы устранения. Определены мероприятия по уменьшению воздействия вредных факторов на окружающую среду.

8. В экономической части приведено экономическое обоснование научно-исследовательской работы. Был составлен и оптимизирован сетевой график комплекса работ по выполнению НИР. Были определены общие затраты на проведение НИР.

Список использованных источников

1. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М. :МИСИС, 2005. – 432 с.
2. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М. : МИСИС,1999. – 416 с.
3. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение: Пер. с англ. – М.: Мир,2000. – 518 с., ил.
4. Соколов, Г.Н. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования / Г.Н. Соколов, В.И. Лысак. – Волгоград: изд. ВолгГУ, – 2005. – 284 с.
5. Походня, И.К. Прогрессивные способы наплавки деталей износостойкими сплавами / И.К. Походня. – М. : ВИНТИ, 1959.–91 с.
6. Разиков, М.И. Автоматическая наплавка в среде углекислого газа /М.И.Разиков. – Москва-Свердловск : Машгиз. – 1962.–212 с.
7. Рябцев, И.А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования / И.А. Рябцев, И.А. Кондратьев. – Киев : Экотехнология. – 1999. – 62 с.
8. Фруммин, И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фруммин. –Харьков : Металлургиздат. – 1961. – 421 с.
9. <http://weldzone.info/technology/gas-sputtering/522-gazoplammennoe-parulyenie>
10. Ковтунов, А.И. Физико-химическая кинетика взаимодействия алюминия со сталью при формировании металла шва с заданными свойствами: дисс. док. тех. наук/ А.И. Ковтунов. – Тольятти, 2011. – 357 с.
11. А.И. Ковтунов, Д.И. Плахотный, А.А. Гушин, А.Г. Бочкарев С.Е. Плахотная, «Влияние режимов наплавки на структуру и свойства покрытий

системы титан-алюминий» Научный журнал ISSN 2071-5234. Сварка и Диагностика. 2016. №2

12. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» [Текст] уч.-метод. пособие. / Л.Н Горина., М.И. Фесина- Тольятти, 2016,-36с.

13. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения [Текст]. -Введ. 1982-01-07.- М. : Государственный комитет по стандартам, 1981-VII, 11с.

14. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления"

15. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха"

16. Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606–03). Серия 03. Выпуск 39 / Кол л. авт. — М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. — 104 с

17. Егоров А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста [Текст] учеб. метод. пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова – Тольятти, 2012, – С.135

18. Краснопевцева И.В. Методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта [Текст] / И.В.Краснопевцева – Тольятти, 2015, – С.21

19. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу [Текст]. -Введ. 1960.01.01.- М : Межгосударственный стандарт, 1959, - С.6

20. ГОСТ 9.312-89. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия защитные. Методы определения жаростойкости [Текст]. -Введ. 30.06.1990.- М : Государственный комитет СССР по стандартам, 1989, - С.11

21. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник.– М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
22. Экономика предприятия: Учебник для вузов / В.Я. Горфинкель, Е.М. Купряков, В.П. Прасолова и др.; Под ред. проф. В.Я. Горфинкеля, проф. Е.М. Купрякова, - М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1996. – 367 с.
23. Организация и планирование машиностроительного производства: Учеб. для машиностр. спец. вузов / М.И. Ипатов, М.К. Захарова, К.А. Грачев и др.; Под ред. М.И. Ипатова, В.И. Постникова и М.К. Захаровой.- М.: Высш.шк., 1988.-367с.
24. Организация и планирование машиностроительного производства: Учеб.для машиностр. спец. вузов / М.И. Ипатов, М.К. Захарова, К.А. Грачев и др.; Под ред. М.И. Ипатова, В.И. Постникова и М.К. Захаровой.- М.: Высш.шк., 1988.-367 с.
25. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием: Учеб. пособие для вузов / Н.С. Сачко, И.М. Бабук, В.И. Демидов и др.; Под ред. Н.С. Сачко, И.М. Бабука. – Мн.: Выш.шк., 1988.- 272с.
26. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения"
27. Гончаренко, Ю. Д. Применение растровой электронной микроскопии, оже-электронной спектроскопии, вторично-ионной масс-спектрометрии для обнаружения и исследования структуры и элементного состава электроизоляционного покрытия / Ю. Д. Гончаренко, Л. А. Евсеев // Известия РАН ; серия физическая. – 1998. – т. 62. – № 3. – С. 495–502.
28. Гончаренко, Ю.Д. Особенности применения методов РЭМ и ВИМС для изучения элементного состава рыхлых отложений на металлической подложке / Ю.Д. Гончаренко, Л.А. Евсеев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2002. – № 10. – С. 61–65.

29. Неуймин, В.А. Износостойкость покрытий на основе интерметаллидных сплавов / В.А. Неуймин, С.А. Шелуха, Г.А. Леонтьева, Е.Н. Тарасенко // Сварочное производство. – 1992. – № 8. – С.33–34.

30. Тушинский, Л.И. Методы исследований материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев. – М. : Мир, 2004. – 384 с.