

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс и оборудование для наплавки гребных винтов судов

Обучающийся

С.И. Тихонов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент О.В. Шашкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности производственных процессов ремонтной наплавки лопастей судовых винтов. При написании введения автором на основании краткого анализа вопроса была сформулирована и обоснована актуальность выбранного направления исследования. Работа включает в себя четыре раздела. В первом, аналитическом разделе рассмотрены типовые дефекты, образование которых в ходе эксплуатации наблюдается на лопастях судовых винтов. При исправлении обнаруживаемых дефектов с применением базовой технологии предусматривается выполнение ручной дуговой наплавки, для исправления недостатков которой на основании литературного поиска составлен перечень технологических задач, решение которых описано во втором, исполнительском разделе. Проведена экспертиза рассматриваемых способов сварки и на основании выставления баллов экспертной оценки обосновано применение плазменной наплавки, после чего предложены мероприятия по расширению технологических возможностей применительно к рассматриваемой конструкции. На основании предлагаемых решений для восстановительной наплавки гребного винта составлена проектная технология. В третьем, оценочном, разделе проведена экспертиза проектной технологии на предмет обеспечения безопасности персонала и окружающей среды, для чего предложены стандартные технические средства и мероприятия. В четвертом, оценочном, разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса ремонтной наплавки, что позволило обосновать целесообразность внедрения предлагаемых решений в производство, так как обеспечивается получение экономического эффекта. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований, проведение которых предполагается в ходе выполнения магистерской диссертации.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы.	6
1.1 Описание условий эксплуатации и дефектов гребного винта, проблематика исследования	6
1.2 Анализ стали для изготовления гребных винтов	10
1.3 Особенности выполнения операций базового технологического процесса восстановительной наплавки гребных винтов из коррозионностойкой стали.	12
1.4 Недостатки базовой технологии восстановительной наплавки. . .	18
1.5 Постановка задач на выполнение выпускной работы	21
2 Проектная технология восстановительной наплавки.	22
2.1 Анализ содержания научной литературы по вопросу восстановительной наплавки гребных винтов.	22
2.2 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки для построения проектной технологии	25
2.3 Повышение эффективности плазменной наплавки	31
2.4 Операции проектного технологического процесса	34
3 Промышленная безопасность производственного участка.	41
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	41
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	42
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	44
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	46
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	48
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических	

решений.	50
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	50
4.2 Фонд времени работы оборудования.	52
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	53
4.4 Заводская себестоимость.	55
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	60
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	62
Заключение	64
Список используемой литературы и используемых источников.	66

Введение

Гребной винт может считаться одним из критичных видов оборудования, так как его нормальная работа обеспечивает основное мореходное свойство – движение по воде. Если нарушена целостность гребного винта, мореплавание становится невозможным, а само судно подвергается риску. При работе гребного винта он подвергается значительным нагрузкам. В первую очередь, необходимо отметить высокую коррозионную активность морской воды. Также работа винта происходит в условиях присутствия в воде ледовых масс, что становится причиной ударного и абразивного износа лопастей винта. Также следует отметить циклическую гидродинамическую нагрузку на лопасти винта и неблагоприятные условия кавитационного износа. Таким образом, разрушение поверхности гребного винта происходит по нескольким механизмам [4], [12]: эрозионного разрушения, электрохимического, усталостного трещинообразования. Также следует отметить, что дефекты литья, которые были допущены при изготовлении гребного винта, становятся концентраторами напряжений и ускоряют негативные процессы, приводящие к выходу винта из строя. В случае неправильно проведенного ремонта винта срок его службы значительно сокращается, что особенно сильно проявляется на гребных винтах, которые были изготовлены из нержавеющей стали [17]. При ремонте гребных винтов основным способом восстановления их рабочего состояния является заварка образовавшихся дефектов, однако наплавочные технологии позволяют существенно продлить срок службы гребного винта и устранить износ его рабочей поверхности с дополнительным повышением рабочих характеристик.

Таким образом, очевидна актуальность выбранного направления исследования и поставленной цели – повышение эффективности наплавки гребных винтов. В настоящих условиях применение технологий имеет повышенную актуальность [7], [15], [18].

1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы

1.1 Описание условий эксплуатации и дефектов гребного винта, проблематика исследования

Многолетняя практика эксплуатации гребных винтов показала, что разрушение их конструкции происходит при напряжениях, которые характеризуются уровнем ниже, чем предел выносливости. Как показал анализ аварий на морском транспорте, разрушение гребного винта происходит в 80 % случаев по причине усталостного износа [16]. Увеличение мощности судовых движителей становится причиной повышения количества аварий по причине поломки гребного винта, так как нагрузки на винт возрастают многократно. На рисунке 1 представлен вид разрушенного гребного винта с разломом его лопасти. Вопрос повышения надежности гребных винтов в настоящее время становится более острым по причине необходимости поддержания ходкости судового транспорта в условиях недостатка поставок новых винтов из-за рубежа. При работе гребных винтов следует отметить совокупное действие коррозионных факторов, перегрузок при работе в ледовых и штормовых условиях, усталостный износ. Также следует принимать во внимание сложность оперативного обнаружения возникающих дефектов, которые с большой скоростью развиваются до критических размеров и становятся причиной поломки гребного винта.



Рисунок 1 – Разрушение лопасти гребного винта

В ряде научных работ отмечается, что кавитационное изнашивание является основным видом износа рабочих поверхностей гребных винтов водного транспорта [9]. При возникновении на деталях из коррозионностойких сплавов, которые используются для изготовления гребных винтов морского транспорта, очаги коррозии имеют локальный характер и незначительную площадь. На рисунке 2 представлены схемы расположения очагов износа на примере теплохода «Ариес» и судна на подводных крыльях «Метеор». Несмотря на малую начальную площадь коррозионного поражения гребного винта необходимо его своевременное устранение, так как рассматриваемая деталь относится к ответственным, определяющим ходовые свойства судна. При оптимизации сроков проведения ремонта гребного винта необходимо обоснованно задавать продолжительность инкубационного износа, когда деграционные процессы будут незначительными, что позволит продолжить использование судна до постановки в ремонтный док или до снятия винта.

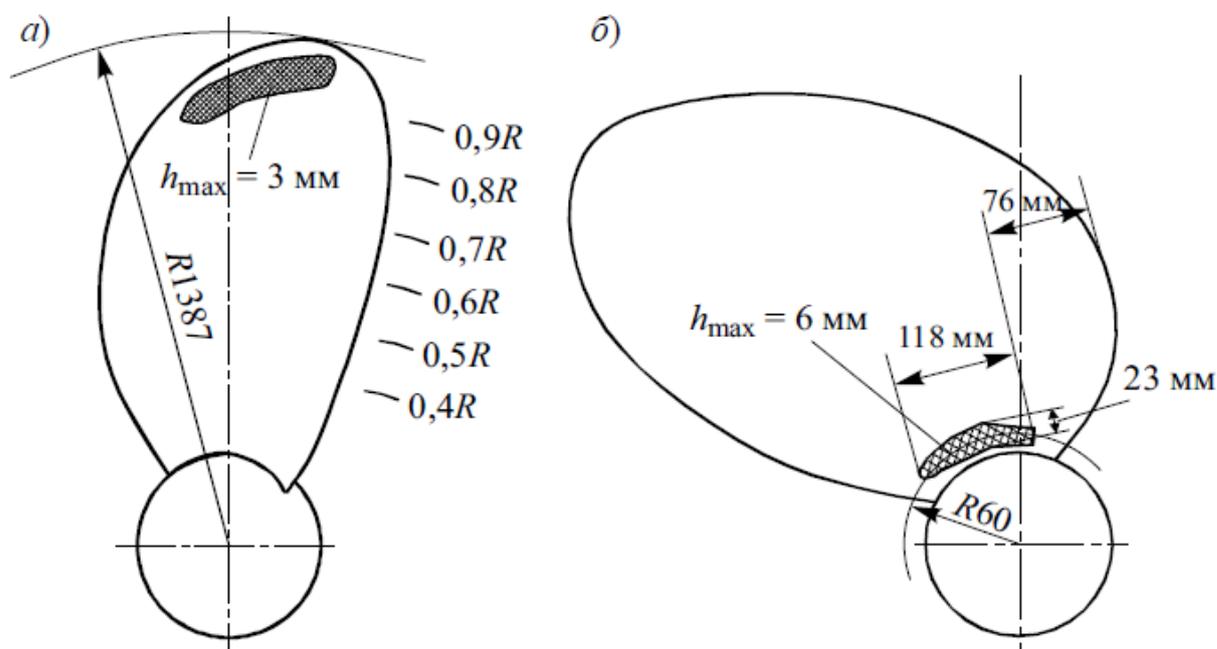


Рисунок 2 – Расположение участков кавитационного износа на рабочих поверхностях гребных винтов теплохода «Ариес» (а) и судна «Метеор» (б)

В течение инкубационного периода изнашивания работа поверхности гребного винта сопровождается наклепом и упрочнением. Такой процесс продолжается до истощения материалом пластичности, после этого происходит отрыв отдельных его частиц под действием кавитации. Установлено, что по результатам изменения профиля рабочей поверхности можно оценить время окончания инкубационного периода и переход к катастрофическому износу. На рисунке 3 представлена схема исходного профиля рабочей поверхности гребного винта (а) и изменение профиля под кавитационным действием (б), что можно отследить по увеличению длины профиля L относительно исходной длины L_0 . На рисунке 4 представлена схема измерения очага кавитационного износа с применением индикатора часового типа. Испытания методики проводили на образцах из стали 08X14НДЛ и стали 08X15Н4ДМЛ. Образцы вырезали из гребных винтов судов, которые прошли длительную эксплуатацию. Испытания проводили на вибраторе УЗДН-4 в пресной воде с частотой 22 кГц и расстоянием между образцом и вибратором 0,5 мм. Потерю массы образцов оценивали с применением весов ВЛР-200.

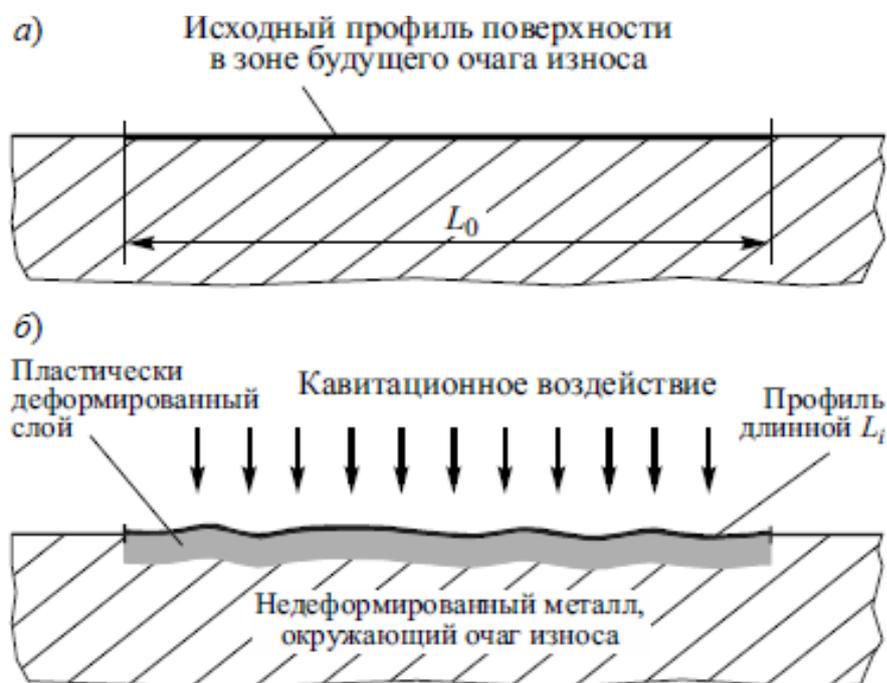


Рисунок 3 – Схема профиля исходной поверхности и поверхности после кавитационного воздействия

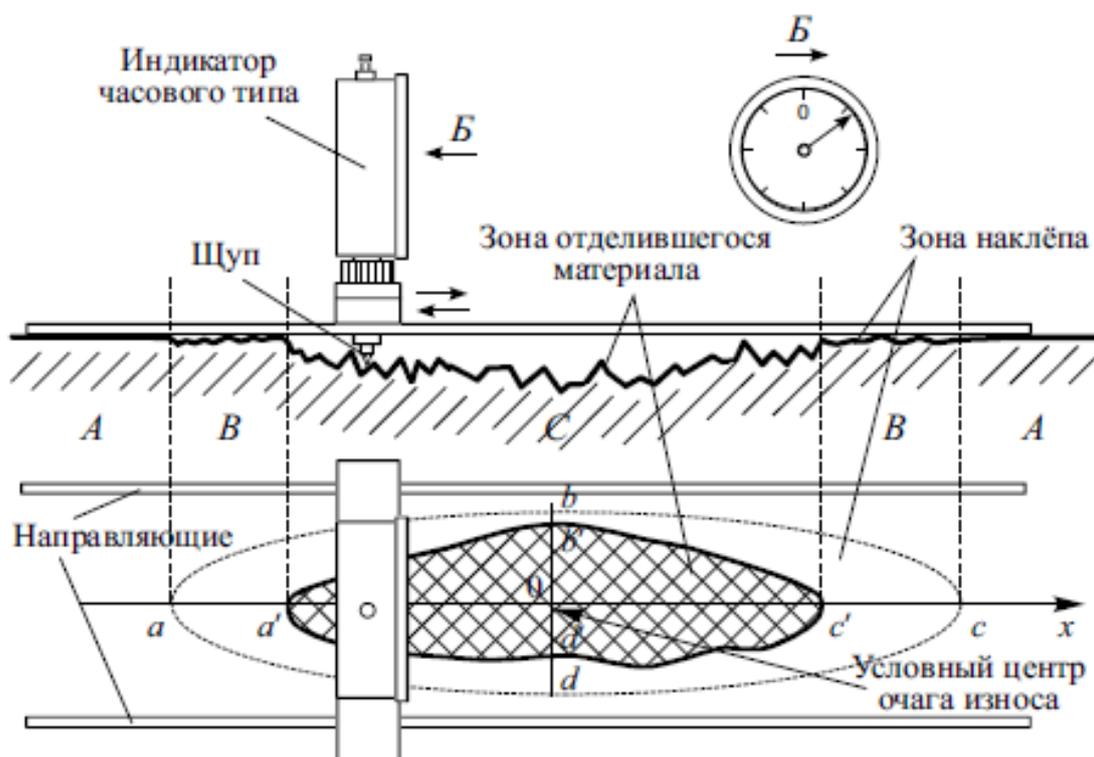


Рисунок 4 – Оценка состояния очага кавитационного износа с применением индикатора

Для восстановления рабочей поверхности гребных винтов применяются различные способы наплавки. Однако применение технологии дуговой наплавки встречает ряд трудностей, возникающих в процессе эксплуатации восстановленных гребных винтов.

При наплавке гребных винтов предлагается применять ручную дуговую наплавку электродами мартенситного класса [8]. Наплавка должна вестись с предварительным подогревом, так как в противном случае происходит образование закалочных структур и повышение растягивающих напряжений при превращении аустенита в мартенсит. Применение аустенитных электродов не позволяет получить наплавленный слой достаточной прочности. Также следует указать на низкую коррозионную стойкость наплавленной поверхности, полученной с применением электродов аустенитного класса. Необходимо проводить контроль состояния винтов через каждые 10 тысяч часов работы, так как в металле возможно образование усталостных и коррозионных трещин.

1.2 Анализ стали для изготовления гребных винтов

При изготовлении лопастей гребных винтов судов, работающих в условиях морской воды, наибольшее распространение получила сталь 08X14НДЛ, которая обладает значительно большей коррозионной стойкостью по отношению к морской воде, чем аналоги [8]. Рассматриваемая сталь относится к мартенситно-ферритному классу и характеризуется высоким сопротивлением по отношению к усталостному разрушению. В тоже время, рядом исследователей отмечается высокая чувствительность стали к надрезам и концентраторам напряжений. В таблице 1 представлено содержание химических элементов в стали. Сталь применяется в виде отливок для заготовок нагруженных деталей, работа которых проходит в морской воде. Временное сопротивление разрушению стали составляет 648 МПа, предел текучести стали составляет 510 МПа.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 08X14НДЛ

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
до 0,08	до 0,4	0,5-0,8	1,2-1,6	до 0,025	до 0,025	13-14,5	0,8-1,2

На рисунке 5 представлена микроструктура основного металла, полученная с увеличением в 500 раз. Можно наблюдать игольчатый мартенсит и прослойки, образующиеся по границам зерен металла. Эти прослойки имеют высокую твердость и хрупкость, они характерны для зоны термического влияния а в дальнейшем становятся причиной хрупкого разрушения.

При сварке и восстановительной наплавке деталей из стали 08X14НДЛ необходимо бороться с возникновением в наплавленном металле горячих трещин, причиной чего является низкая прочность стали при температурах, близких к температуре кристаллизации, в результате чего растягивающие напряжения, возникающие в результате кристаллизационного уменьшения металла в объеме, превышают предел прочности металла в нагретом состоянии и вызывают. Также при наплавке с применением штучных

электродов возникает проблема выгорания легирующих элементов, в результате чего обедняется состав металла сварного шва.

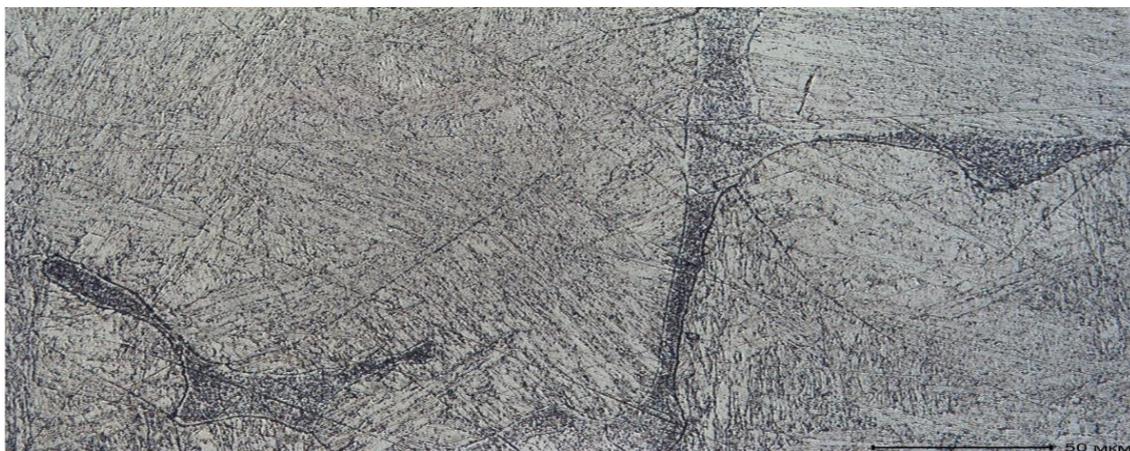


Рисунок 5 – Микроструктура основного металла с увеличением в 500 раз

В числе проблем, решение которых должно быть обеспечено при построении технологии восстановительной наплавки гребных винтов из рассматриваемых сталей, является охрупчивание металла в зоне термического влияния и в наплавленном металле. Причинами хрупкого разрушения винта становится во-первых, низкая величина усталостной прочности и пластичности, характерная для наплавленного металла. Во-вторых, наличие хрупкой прослойки по границам зерен наплавленного металла и основного металла. В-третьих, наличие насыщенной дефектами промежуточной прослойки между наплавленным металлом и основным металлом. В-четвертых, на коррозионные процессы и процессы усталостного разрушения ускоряющее влияние оказывают значительные остаточные напряжения, которые остаются в конструкции винта после наплавки. Излом имеет ярко выраженный хрупкий характер, так как разрушение происходит по границам зерен. Стали, из которых изготовлены винты, обладают значительным сопротивлением коррозии и усталостному разрушению, необходимо отметить их высокую чувствительность по отношению к надрывам, поэтому образующиеся микро и макро трещины становятся центрами развития дальнейшего разрушения.

1.3 Особенности выполнения операций базового технологического процесса восстановительной наплавки гребных винтов из коррозионностойкой стали

После того, как гребной винт был снят с судна и очищен от обрастаний с применением механических способов, проводят его обезжиривание с применением органических растворителей и водных моющих растворов. С поверхности лопастей винта удаляют образовавшиеся там окислы и коррозионные участки, показанные на рисунке 6.



Рисунок 6 – Коррозионный и эрозионный износ гребного винта

Далее выполняют дефектацию поступившего на восстановление гребного винта. Первоначально проводят внешний осмотр, в ходе которого выявляют такие дефекты, как забоины, коррозионные повреждения и износ, погнутости. Далее проводят обмер поврежденных участков. При помощи цветной дефектоскопии проверяют состояние рабочей поверхности лопастей на предмет наличия на них трещин. В зависимости от расположения на гребном винте обнаруживаемый дефект попадает в одну из трех зон, нахождение в которой определяет дальнейший ход восстановительной технологии. Разделение гребного винта на ремонтные зоны представлено на рисунке 7 и предусматривает наличие трех зон (зона «А», зона «Б» и зона «С»). Обязательным является визуальный осмотр всех зон гребного винта при каждом доковании, при этом применяется лупа с увеличением 7...10 раз, что позволяет достоверно оценить характер и размеры дефекта.

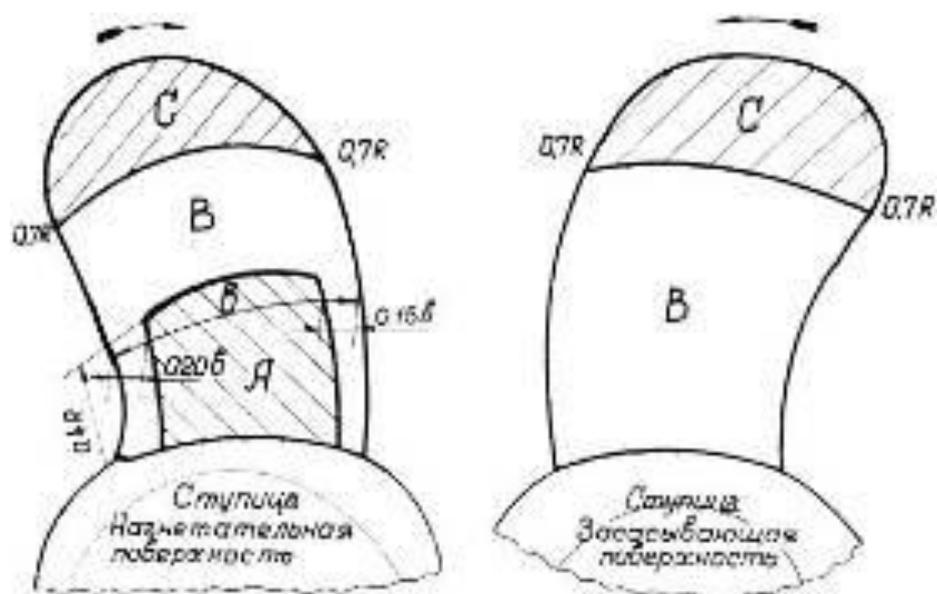


Рисунок 7 – Разделение гребного винта на ремонтные зоны

Трещины обнаруживаются при визуальном осмотре и капиллярном контроле, их исправление происходит с применением ручной дуговой сварки. Деформации элементов гребного винта обнаруживаются при визуальном осмотре и обмере, их исправление происходит в процессе правки с применением гидроперссового домкрата. Обрыв лопасти обнаруживается в процессе визуального осмотра и исправляется приваркой недостающего элемента. Кавитационный износ и коррозионный износ поверхности гребного винта обнаруживается в ходе визуального осмотра и исправляется с применением ручной дуговой наплавки.

Наплавка гребных винтов должна выполняться в закрытых помещениях при положительной температуре воздуха, в помещении не должно быть сквозняков. Наплавку выполняют в нижнем положении, возможно расположение винта таким образом, чтобы угол наклона наплавляемой поверхности не превышал 60° . При сварке и наплавке незначительных участков допускается проведение работ с гребным винтом, расположенным на валу.

С применением механических средств проводят разделку дефектного места до здорового металла. необходимо обеспечить пологость кромок,

отсутствие острых углов и заусенцев. На расстоянии 10...15 мм во все стороны от разделки следует зачистить до металлического блеска поверхность основного металла. Выборку выполняют с применением представленной на рисунке 8 радиальной шлифовальной машины ИП-2014. При выборке необходимо удалять металл на глубину более 1 мм ниже глубины залегания дефекта, как это показано на рисунке 9. Необходимо обеспечить плавный выход выборки на основной металл, для чего радиус выборки должен быть не менее 60 мм.



Рисунок 8 – Радиальная шлифовальная машина

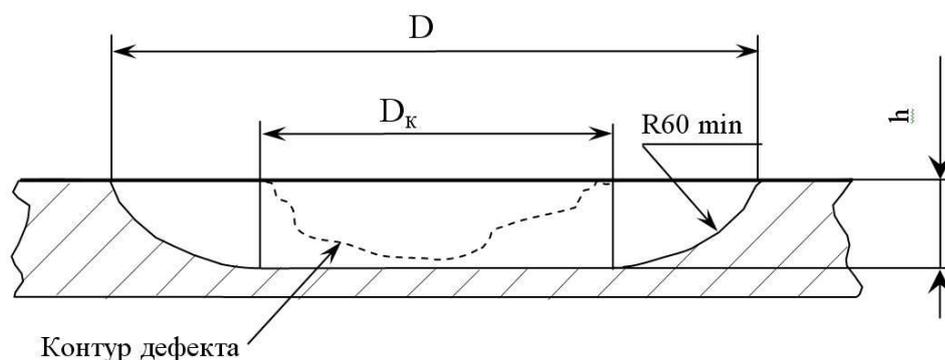


Рисунок 9 – Выборка дефектного места на гребном винте

Перед сваркой после выполнения выборки необходимо провести предварительный подогрев гребного винта до температуры 100...150 °С, который согласно технологии проводят с применением пропанбутановых горелок. Зона предварительного нагрева должна распространяться на 80 мм во все стороны от разделки, при помощи контактных термопар или бесконтактных датчиков температуры контролируют температуру нагрева основного металла.

Для наплавки применяются электроды E308L-17 диаметром 2,5 мм, позволяющие получать наплавленный слой аустенитного состава, стойкий против межкристаллитной коррозии. Данные электроды мало восприимчивы к загрязнению металла и позволяют получать наплавленный слой высокого качества. Предел прочности наплавленного металла составляет 580 МПа, предел текучести наплавленного металла составляет 430 МПа. Содержание хрома в наплавленном металле составляет 19,3 %, содержание никеля составляет 10 %.

«Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности. Сила тока наплавки составляет 70...80 ампер. Наплавку ведут короткой дугой узкими валиками, длина дуги составляет приблизительно один диаметр сварочного электрода. Накладывают валики параллельно друг другу, ширина каждого валика должна быть не более 10 мм, перекрытие валиков должно быть не менее 3 мм» [9]. При сварке второго слоя валики следует накладывать поперечно валикам предыдущего слоя. Последовательность выполнения слоев при наплавке представлена на рисунке 10. При заполнении разделки накладывают узкие валики. Сначала сваривают первый слой 1, потом выполняют заполняющие слои 2, потом выполняют контурный шов 3, потом выполняют облицовочный слой 4. До выполнения облицовочного слоя следует наложить контурный шов. При варке контурного шва электрод ведут вдоль линии границы разделки с поперечными колебаниями перпендикулярно этой линии. Необходимо обеспечить ширину контурного шва в диапазоне 8...12 мм. Наплавленный металл контурного шва должен плавно переходить на основной металл. Не допускается наличие в контурном шве подрезов.

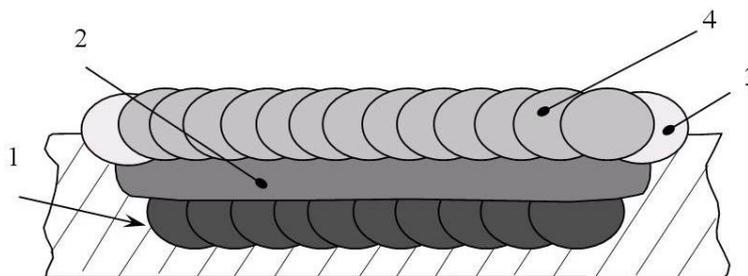


Рисунок 10 – Последовательность выполнения слоев

При «остановке сварки следует выводить кратер на ранее наплавленный металл и тщательно его заправлять. Выводить кратер на основной металл запрещено. Зажигание дуги следует выполнять на кромках или ранее наплавленном металле. Следует добиваться получения мелкой чешуйчатости сварного шва, при которой гребень превышает впадину не более 1 мм.

Для наплавки применяется представленный на рисунке 11 сварочный выпрямитель ВДУ-506» [9], обеспечивающий стабильное качество сварки при колебаниях напряжения сети и позволяющий получить запас по мощности.



Рисунок 11 – Сварочный выпрямитель ВДУ-506, применяемый для ручной дуговой наплавки согласно базовой технологии

После выполнения заполнения выборки и завершения сварки облицовочного шва следует обработать поверхность наплавленного металла шлифовальным кругом, снимая усиление до 1...1,5 мм, далее до получения шероховатости Rz40 поверхность доводят напильником и дисковой металлической щеткой.

При проведении неразрушающего контроля выполняют визуальный и измерительный контроль, ультразвуковой контроль, контроль проникающими веществами. При проведении визуального и измерительного контроля длина контролируемого участка должна перекрывать дефектный участок на 100 мм и более. При проведении ультразвукового контроля и контроля

проникающими веществами контролируемая площадь должна покрывать площадь дефектного участка на 50 мм во все стороны.

Для проведения ультразвукового контроля применяется представленный на рисунке 12 дефектоскоп Olympus NDT 1000i.



Рисунок 12 – Ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT 1000i

При проведении контроля определяется наличие в наплавленном металле и металле около ремонтируемого участка поверхностных дефектов (незаваренные кратеры, подрезы, свищи, выходящие на поверхность трещины) и внутренних дефектов (расслоения, несплавления, трещины, поры, шлаковые включения).

Необходимо принимать во внимание, что в процессе наплавки под действием остаточных напряжений возможно изменение геометрии гребного винта, что отрицательно сказывается на его эксплуатационных характеристиках. Поэтому после выполнения восстановительной наплавки следует проверить геометрию при помощи статической балансировки. В случае перевеса винта снимается часть металла с засасывающей стороны утяжеленной лопасти, добиваясь, чтобы винт находился в состоянии безразличного равновесия.

1.4 Недостатки базовой технологии восстановительной наплавки

Базовая технология восстановления рабочей поверхности гребного винта предусматривает применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Как показала практика, применение этого способа не позволяет в достаточной степени восстановить деталь и в дальнейшем приводит к увеличению сопутствующих расходов, связанных с постоянной диагностикой состояния винта и исправлению возникающих дефектов. Выполнялось математическое моделирование условий работы гребного винта при различных нагрузениях. Моделировались как нормативные условия, так и условия полной нагрузки и полного хода вплоть до обрыва лопасти винта. Также выполнялись натурные исследования образцов гребных винтов после разрушения. Анализировались вырезанные в районе излома образцы металла винтов, которые были изготовлены из стали 1X14НДЛ и 08X14НДЛ. С применением спектрального анализа проводилось изучение химического состава образцов, который представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание химических элементов образцах для испытаний

№	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	S	P
1	менее 0,08	0,14	0,08	1,38	12,24	0,47	менее 0,04	менее 0,04
2	менее 0,08	0,20	0,08	1,32	11,96	0,35	менее 0,04	менее 0,04
3	менее 0,08	0,21	0,11	1,64	12,33	0,30	менее 0,04	менее 0,04

При испытаниях на растяжение установлено, что прочность образцов превышает нормативные показатели и составляет более 630 МПа. Твердость образцов превышает 198 НВ. Также следует признать недостаточную пластичность металла в районе излома, так как по результатам измерений относительное сужение образцов составило 33,3 %, что меньше нормативных показателей. Таким образом, следует отметить склонность металла к хрупкому

разрушению в результате охрупчивания. Такое охрупчивание особенно сильно проявляется в районе наплавки и сварки.

На рисунке 10 представлены дефекты, имеющие коррозионную природу и образовавшиеся на границе наплавленного металла и основного металла. Размер макротрещины составляет 4,2...4,8 мм.



Рисунок 10 – Коррозионное разрушение на границе наплавленного металла и основного металла

Также следует отметить неблагоприятные структурные изменения в приповерхностном слое в результате термического влияния. Такой слой имеет толщину порядка 2 мм и представлен на рисунке 12. «Зона термического влияния, которая располагается под наплавленным слоем, характеризуется повышенным количеством пор, которые на представленном рисунке проявляют себя как темные пятна. Строение наплавленного металла, который виден в верхней части фотографии, является дендритной. В нижней части фотографии представлен основной металл и он имеет мартенситную структуру. По границам промежуточной зоны термического влияния, которая расположена между основным металлом и наплавленным металлом, хорошо видна фаза, которая характеризуется увеличенным содержанием хрома. На рисунке 6 представлена микроструктура основного металла с увеличением»

[9] в 500 раз, которая позволяет судить, что основной металла представлен мартенситом игольчатого строения. По границам кристаллитов располагается хрупкая прослойка Fe-Cr, наличие которой становится причиной разрушения винта после продолжительной работы.

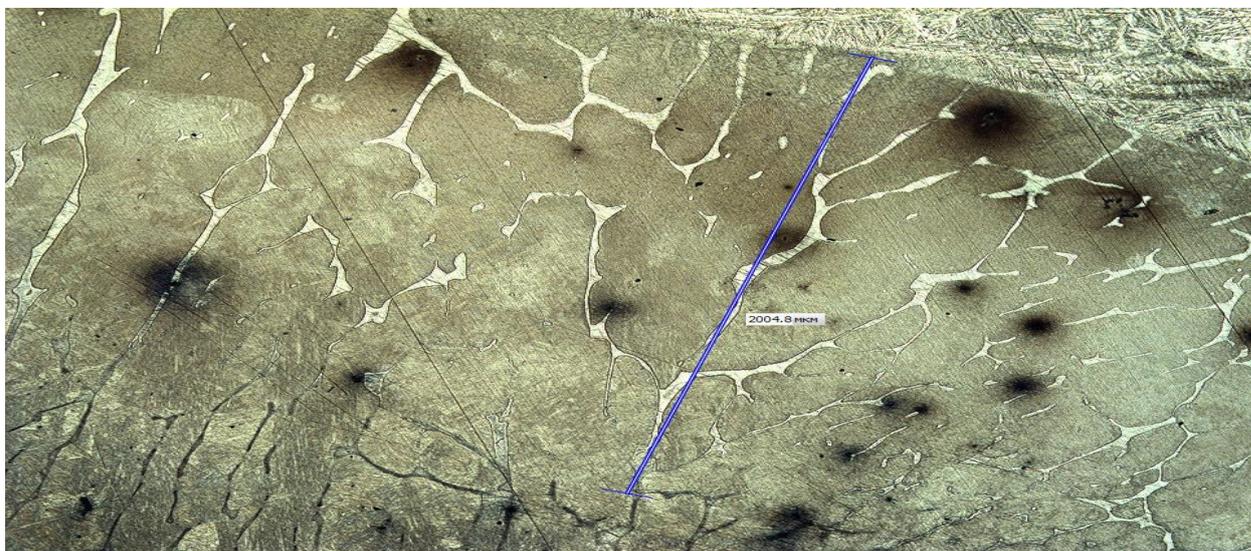


Рисунок 12 – Приповерхностный слой на лопасти под наплавленным металлом

Наплавка должна вестись с предварительным подогревом, так как в противном случае происходит образование закалочных структур и повышение растягивающих напряжений при превращении аустенита в мартенсит. Применение аустенитных электродов не позволяет получить наплавленный слой достаточной прочности. Также следует указать на низкую коррозионную стойкость наплавленной поверхности, полученной с применением электродов аустенитного класса. Необходимо проводить контроль состояния винтов через каждые 10 тысяч часов работы, так как в металле возможно образование усталостных и коррозионных трещин.

Таким образом, помимо высокой трудоемкости и тяжелых условия труда сварщика, которые характеризуют применение ручной дуговой наплавки, этот способ не позволяет получить требуемых эксплуатационных характеристик восстановленного гребного винта, что заставляет искать способы совершенствования базовой технологии восстановительной наплавки.

1.5 Постановка задач на выполнение выпускной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки гребных винтов. В качестве типовой детали для наплавки рассматривается гребной винт из нержавеющей сталей, предназначенный для работы в условиях коррозионного действия морской воды. В настоящем разделе рассмотрены типовые дефекты, образование которых в ходе эксплуатации наблюдается на лопастях судовых винтов. При исправлении обнаруживаемых дефектов с применением базовой технологии предусматривается выполнение ручной дуговой наплавки, для исправления недостатков которой на основании литературного поиска составлен перечень технологических задач, решение которых должно быть выполнено во втором, исполнительском разделе. При решении первой задачи предстоит провести экспертизу рассматриваемых способов восстановительной наплавки на предмет эффективности их применения при исправлении дефектов гребного винта, на основании которой будет обоснован выбор способа для реализации проектной технологии. При решении второй задачи предстоит на основании литературного обзора предложить мероприятия по повышению эффективности выбранного способа наплавки. При решении третьей задачи предстоит составить перечень операций, для которых следует сформулировать требования к выполнению, назначить оптимальные параметры режима и применяемое оборудование. Оценочные разделы работы позволят рассмотреть проектную технологию с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности. Далее следует провести экспертизу проектной технологии на предмет обеспечения безопасности персонала и окружающей среды, для чего предложены стандартные технические средства и мероприятия. Также следует провести сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса ремонтной наплавки, что позволило обосновать целесообразность внедрения предлагаемых решений в производство.

2 Проектная технология восстановительной наплавки

2.1 Анализ содержания научной литературы по вопросу восстановительной наплавки гребных винтов

Для того, чтобы при построении проектной технологии применить наиболее современные и эффективные способы организации сварочного производства, были проведены литературные изыскания в области расширения технологических возможностей наплавки на детали из нержавеющей стали. Поиск источников научно-технической информации выполнялся с применением системы ГУГЛ по ключевым словам. Кроме того, был выполнен экспертный поиск в таких информационных ресурсах, как «КиберЛенинка» (содержит тексты научных статей по техническим наукам), «ДиссерКэт» (содержит тексты диссертаций и авторефератов к диссертациям).

В первой работе [8] показано, что в сталях 1X14НДЛ и 08X14НДЛ, которые используются для изготовления гребных винтов, под наплавленным слоем формируется промежуточный слой толщиной 2 мм, имеющий повышенное количество дефектов и малое сопротивление усталостному износу. После образования в металле винта макротрещины размером до 4,2...4,8 мм его несущая способность падает практически до нуля, а разрушение происходит при номинальном нагружении. При наплавке гребных винтов предлагается применять ручную дуговую наплавку электродами мартенситного класса. Наплавка должна вестись с предварительным подогревом, так как в противном случае происходит образование закалочных структур и повышение растягивающих напряжений при превращении аустенита в мартенсит. Применение аустенитных электродов не позволяет получить наплавленный слой достаточной прочности. Также следует указать на низкую коррозионную стойкость наплавленной поверхности, полученной с применением электродов аустенитного класса. Необходимо проводить

контроль состояния винтов через каждые 10 тысяч часов работы, так как в металле возможно образование усталостных и коррозионных трещин.

Во второй работе [9] «показано, что применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей из нержавеющей сталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств. Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей из нержавеющей сталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги. Результаты этой работы показывают эффективность сварки и наплавки деталей из нержавеющей сталей проволоками сплошного сечения в защитных газах с импульсным управлением. Работа будет использована при обосновании выбора способа наплавки и построения проектной технологии наплавки лопастей гребного винта» [9].

В третьей работе [15] показано, что наиболее опасной с точки зрения образования трещина зоной гребного винта следует считать поверхностный слой, который подвергается совокупному действию коррозионных факторов и динамическому нагружению. Кроме того, динамическое нагружение характеризуется знакопеременными нагрузками нормативного размера и критического размера (при штормовой и ледовой нагрузке). Повышение стойкости поверхностного слоя против зарождения и развития трещин возможно при его покрытии никель-титаном с использованием технологии лазерной наплавки или плазменного напыления. При испытаниях в условиях морской воды на гребных винтах из стали 08X14НДЛ установлено, что

покрытие таким составом позволяет увеличить условный предел выносливости до $5 \cdot 10^7$ циклов.

В четвертой работе [4] показано, что металл наплавленного слоя гребного винта, представляющий собой состав 60X8ТЮ, получаемый при использовании наплавочной порошковой проволоки ППМ-6 в процессе эксплуатации претерпевает мартенситное превращение и повышает свою твердость на 40 % без снижения стойкости против выкрашивания. По сравнению с образцами из аустенитной стали стойкость против кавитационного разрушения увеличивается на 72 %. При наплавки неплавящимся электродом в аргоне с применением в качестве присадки порошковой проволоки ППМ-6 стойкость против кавитации увеличивается на 300...500 % по сравнению с газотермическим напылением, что позволяет судить о высокой эффективности процесса. Результаты этой работы будут использованы для обоснования выбора способа восстановительной наплавки гребных винтов и построения проектной технологии.

В пятой работе [20] установлено, что оценка продолжительности инкубационного периода кавитационного износа может быть выполнена по результатам трех измерений среднего арифметического отклонения профиля. Первое измерение выполняется на поверхности без износа и является исходным значением, второе измерение выполняется на исследуемой поверхности. Третье измерение выполняется на поверхности с критическим износом. По результатам сравнения этих трех величин возможна оценка степени износа и принятие решения о проведении ремонтной наплавки. Результаты этой работы будут использованы для обоснования актуальности выбранного направления исследования и построения проектной технологии диагностики состояния и ремонтной наплавки гребных винтов.

Проведенный анализ источников научно-технической информации показал высокую актуальность выбранного направления исследования и позволил обобщить опыт отечественных предприятий в области восстановительной наплавки гребных винтов.

2.2 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки для построения проектной технологии

Применительно к способам восстановительной наплавки предъявляются требования [13]: обеспечение высоких прочностных и механических свойств слоя наплавленного металла, хорошее сплавление наплавленного металла с основным металлом детали с образованием минимальных растягивающих напряжений, высокий коэффициент использования наплавочных материалов, отсутствие критических дефектов в виде трещин и пор, минимальная стоимость реализации технологии. При восстановительной наплавке гребных винтов могут быть применены такие способы: ручная дуговая наплавка, механизированная наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, наплавка порошковой проволокой, плазменная наплавка, лазерная наплавка.

При ручной дуговой наплавке обеспечивается универсальность процесса и возможна реализация процесса с минимальными капитальными вложениями в производство. Данный способ благодаря своей универсальности получил наибольшее применение при построении технологических процессов ремонтной сварки и наплавки. Оборудование для ручной дуговой сварки в достаточном количестве присутствует на предприятиях, а сам процесс не требует значительной подготовки для проведения ремонтной сварки, что позволяет приступать к выполнению работ практически незамедлительно. Однако из-за неустраняемых недостатков ручной дуговой сварки её доля в промышленности неуклонно снижается, как при изготовлении, так и при ремонте металлических конструкций. При этом на первый план выходят автоматизированные и механизированные способы сварки. Применение ручной дуговой наплавки легированными электродами не может относиться к экономичным процессам, так как значительны потери дорогостоящего электродного металла на разбрызгивание и электродные огарки. В результате описанных проблем ведется поиск новых способов сварки для построения технологии ремонтной сварки и наплавки. Также

следует указать на низкую стабильность качества соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода.

Одним из самых распространенных способов дуговой наплавки является наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения. В работе [9] поставлена цель расширения технологических возможностей механизированной автоматической сварки и наплавки деталей из нержавеющей стали проволокой сплошного сечения в защитных газах за счёт импульсного управления параметрами горения сварочной дуги.

Для сварки и наплавки была использована установка, в состав установки входит источник питания и система управления. Подача сварочной проволоки осуществляется от безредукторного прецизионного механизма подачи. Регулирование скорости подачи проволоки осуществляется за счёт датчика обратной связи. Равномерное перемещение сварочной горелки осуществляется механизмом продольного перемещения. Механизм подачи сварочной проволоки обеспечивает управляемую импульсную подачу проволоки, осциллограмма подачи проволоки и осциллограмма сварочного тока представлены на рисунке 13.

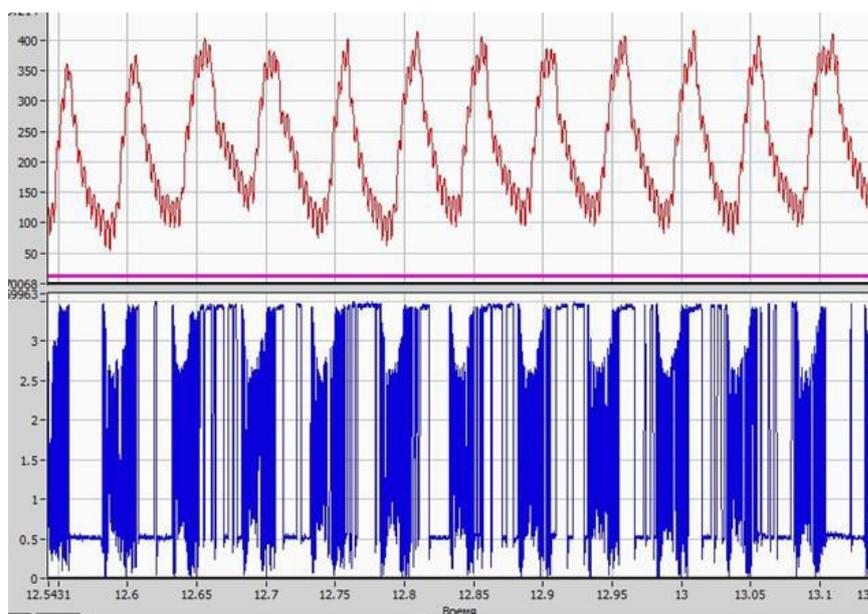


Рисунок 13 – Осциллограммы сварочного тока и подачи проволоки

«В ходе экспериментальной сварки было определено влияние параметров импульсной подачи проволоки на формирование валика сварного шва. Ток наплавки устанавливался 200 А, напряжение на дуге поддерживалось в диапазоне 25...30 В. Размеры наплавленного валика обрабатывались с использованием компьютерного программирования, что позволило с высокой точностью обработать статистические данные. На рисунке 14 представлены валики, наплавленные в условиях равномерной подачи проволоки и импульсной подачи проволоки» [9].



Рисунок 14 – Сравнительный анализ валиков, наплавленных с применением равномерной подачи проволоки и импульсной подачи проволоки

«Таким образом, показана высокая эффективность сварки и наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения, технологические возможности которой могут быть существенно повышены с применением импульсного управления горением сварочной дуги и подачей сварочной проволоки. Применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей из нержавеющей сталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств. Дальнейшие исследования в области повышения

эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей из нержавеющей сталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги» [9].

Существенное расширение технологических возможностей при построении технологии сварки и наплавки достигается при использовании порошковой проволокой. По сравнению с проволокой сплошного сечения производство порошковой проволоки отличается большей гибкостью в области регулирования состава наплавленного металла, так как содержание химических элементов в шихте проволоки может регулироваться в широком диапазоне без изменения технологии производства самой проволоки. Таким образом, у технолога-сварщика появляется возможность подбора оптимального состава наплавленного металла, упрощается изготовление экспериментальных партий проволоки и внедрение передовых наплавочных составов. В работе [4] представлен пример эффективности внедрения восстановительной наплавки порошковой проволокой применительно к гребным винтам судов из нержавеющей стали. Данный способ наплавки по эффективности сравнивался с другими способами (газовоздушное напыление, наплавка покрытым электродом, наплавка порошковой проволокой и наплавка неплавящимся электродом в аргоне).

Для ручной дуговой наплавки применяли покрытые электроды E308L-17 диаметром 2,5 мм. Для наплавки неплавящимся электродом в аргоне применяли присадочную проволоку 06X19H9T диаметром 1,6 мм. Для наплавки порошковой проволокой применяли проволоку ППМ-6 (производства «Уральский институт сварки») диаметром 1,6 мм. Для газовоздушного напыления применяли порошки различного состава на основе карбида вольфрама и хромоникеля.

Выполняли сканирующую электронную микроскопию поверхности, измерение микротвердости, профилометрию, рентгенофазовый анализ. Установлено, что металл наплавленного слоя гребного винта, представляющий собой состав 60X8ТЮ, получаемый при использовании

наплавочной порошковой проволоки ППМ-6 в процессе эксплуатации претерпевает мартенситное превращение и повышает свою твердость на 40 % без снижения стойкости против выкрашивания. По сравнению с образцами из аустенитной стали стойкость против кавитационного разрушения увеличивается на 72 %. При наплавки неплавящимся электродом в аргоне с применением в качестве присадки порошковой проволоки ППМ-6 стойкость против кавитации увеличивается на 300...500 % по сравнению с газотермическим напылением, что позволяет судить о высокой эффективности процесса.

Применение сжатой дуги как источника нагрева при сварке и наплавке раскрывает дополнительные возможности перед технологом при организации восстановления деталей судостроения [13]. Первым преимуществом плазменной наплавки является высокая энергоэффективность процесса, осуществление которого требует в несколько раз меньших затрат энергии, чем при сварке и наплавке свободно горящей дугой. Вторым преимуществом является экономичность способа, так как расход защитного газа при плазменных процессах меньше, чем при аналогичных процессах при свободно горящей дуге. Кроме того, стоимость присадочного порошка, который применяется для выполнения плазменной наплавки, существенно ниже стоимости аналогичного количества штучных электродов и порошковой проволоки. Главным недостатком плазменной наплавки следует признать недостаточный опыт её применения в производстве. Промышленные предприятия не накопили в должной мере оборудования для проведения плазменных процессов обработки металлов, поэтому любой переход на применение плазменной наплавки и сварки будет сопровождаться значительными финансовыми затратами.

Существенными перспективами обладает лазерная наплавка, которая успешно апробирована при восстановлении деталей судостроения [8]. Главным преимуществом применения лазерной наплавки является малый припуск на механическую обработку, что позволяет при оптимальной

настройке процесса обеспечить уменьшение затрат на материалы и последующую механическую обработку наплавленного гребного винта. При лазерной наплавке снижается вложение тепла в основной металл, что устраняет опасность его деформирования. Следует отметить, что действующая в настоящий момент нормативная документация, регламентирующая применение восстановительной наплавки в судостроении, опирается на традиционные дуговые способы сварки, а применение таких перспективных способов, как плазменная наплавка и лазерная наплавка, не рассматривается. Также следует принимать во внимание высокую стоимость оборудования для лазерной наплавки, которое в настоящий момент не получило должного применения в производство. А это означает, что капитальные затраты при реализации технологического процесса на базе лазерной наплавки будут самыми значительными.

На основании вышеизложенного для построения проектной технологии предлагается применить наплавку сжатой дугой, которая позволяет получать заданные свойства наплавленного слоя за счёт применения присадочных порошков различного состава. Также следует указать на то, что плазменная наплавка по сравнению с наплавкой открыто горящей дугой позволяет уменьшить расход защитного газа и присадочного материала, снизить уровень остаточных напряжений в детали после наплавки, что существенно уменьшает трудоемкость при последующем вывешивании гребного винта. Поскольку при плазменной наплавке слой наплавленного металла имеет малую шероховатость, уменьшается припуск на механическую обработку, что также улучшает экономические показатели производства. В дальнейшем при выполнении выпускной квалификационной работы предстоит на основании изучения научно-технической литературы оптимизировать способ плазменной наплавки применительно к рассматриваемой детали, что позволит в дальнейшем выполнить экономическое обоснование применения предлагаемых решений и указать дальнейшие направления их развития.

2.3 Повышение эффективности плазменной наплавки

Для расширения технологических возможностей плазменной наплавки предлагается применить разработанный российскими учеными способ и устройство, представленные в описании к изобретению [2]. Данный способ позволяет расширить возможности регулирования состава присадочного материала при плазменной наплавке, обеспечивая подачу тугоплавких и легкоплавких компонентов без риска получения дефектов в виде несплавлений или локального перегрева. Функциональная схема предлагаемого устройства представлена на рисунке 15. При наплавке питание сжатой дуги обеспечивается импульсным источником, позволяющих формировать осциллограмму тока, представленную на рисунке 16. Синхронно с импульсами тока изменяется подача тугоплавких C_T и подача легкоплавких C_L компонентов, как это представлено на рисунке 16.

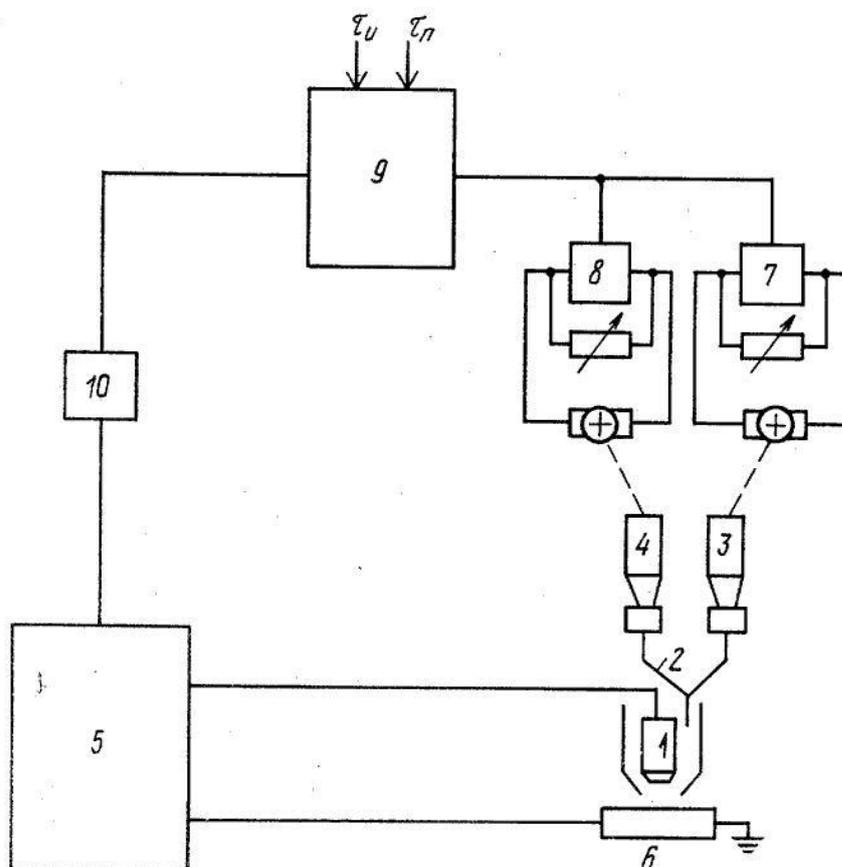


Рисунок 15 – Схема осуществления предлагаемого способа плазменной наплавки

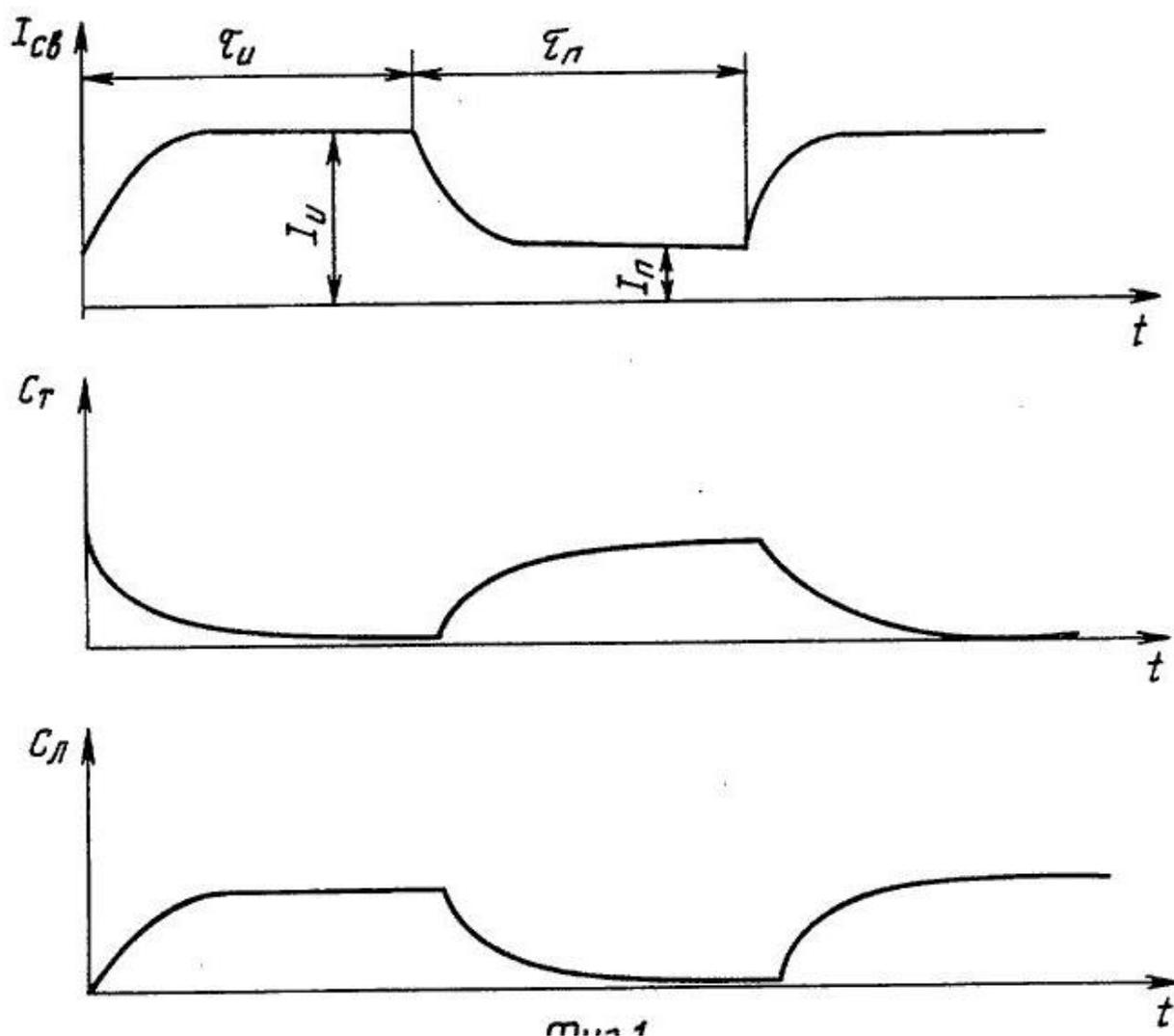


Рисунок 16 – Синхронизация с импульсами тока $I_{св}$ подачи тугоплавких компонентов C_T и подачи легкоплавких компонентов $C_{л}$

На представленной на рисунке 15 функциональной схеме позицией 1 показан плазматрон, в который по патрубкам 2 подается присадочный порошок. Причем тугоплавкие компоненты подаются через питатель 3, а легкоплавкие компоненты подаются через питатель 4. Наплавляемая деталь, которая на схеме показана позицией 6, подключена к источнику питания, обозначенному на схеме позицией 5. Блок управления 9 обеспечивает синхронизацию работы источника питания 5 через блок временной задержки 10 и работы питателей через коммутирующие устройства 7 и 8.

В плазменную горелку подается смесь тугоплавких и легкоплавких компонентов, причем при уменьшении сварочного тока концентрация в смеси

тугоплавких компонентов увеличивается, а концентрация легкоплавких компонентов, наоборот, снижается. При увеличении сварочного тока концентрация легкоплавких компонентов в смеси повышается, а концентрация тугоплавких компонентов снижается. Таким образом, при переходе тугоплавких компонентов через столб дуги малой мощности не происходит их перегрева, и в сварочную ванну тугоплавкие компоненты поступают неоплавленными, что позволяет при перемешивании тугоплавких компонентов с металлом сварочной ванны формировать композитный слой наплавленного металла. При этом матрица такого наплавленного металла сформирована легкоплавкими компонентами с внедрениями тугоплавких компонентов.

При наплавке рассматриваемого в выпускной квалификационной работе массивного гребного винта ток импульса задают 160 ампер при длительности импульса 0,7 с, ток паузы составляет 70 ампер при длительности паузы 0,7 с. Наплавку ведут со скоростью 4,5 метра в час с наложением на траекторию движения колебательных перемещений плазматрона с частотой 0,7 Гц с амплитудой 5 мм. В качестве плазмообразующего и защитного+транспортирующего газа предлагается применить аргон, причем расход транспортирующего+защитного газа оставляет 16 литров в минуту, а расход плазмообразующего газа составляет 1 литр в минуту. При наплавке предлагается применить тугоплавкий компонент в виде порошка Х16С3Р3 и легкоплавкий компонент в виде порошка никеля ПНЭ-2. Расход каждого компонента устанавливается 2,2 килограмма в час.

Наплавленный слой по составу соответствует наплавке, полученной с применением в качестве присадки порошка ПР-Н73Х16С3Р3, однако в предлагаемом варианте износостойкость наплавленного слоя и его твердость существенно выше. Кроме того, наплавка характеризуется повышенным сопротивлением по отношению к коррозии в пресной и морской воде.

2.4 Операции проектного технологического процесса

С применением механических способов выполняют удаление обрастаний на поверхности. Далее выполняют дефектацию поступившего на восстановление гребного винта. Первоначально проводят внешний осмотр, в ходе которого выявляют такие дефекты, как забоины, коррозионные повреждения и износ, погнутости. Далее проводят обмер поврежденных участков. При помощи цветной дефектоскопии проверяют состояние рабочей поверхности лопастей на предмет наличия на них трещин.

Определяют опасность обнаруживаемых дефектов в соответствии с зонами ответственности, представленными на рисунке 17. «А» - зона повышенных напряжений. Устранение дефектов, как правило, не допускается. Для ремонтной наплавки требуется специальное разрешение инспектора по технологиям. «В» - зона средних напряжений. В этой зоне следует избегать проведения сварочных и наплавочных работ, если существуют альтернативные технологические приемы. «С» - Зона пониженных напряжений. Ремонт с применением сварки и наплавки безопасен при условии соблюдения технологии сварки и наплавки.

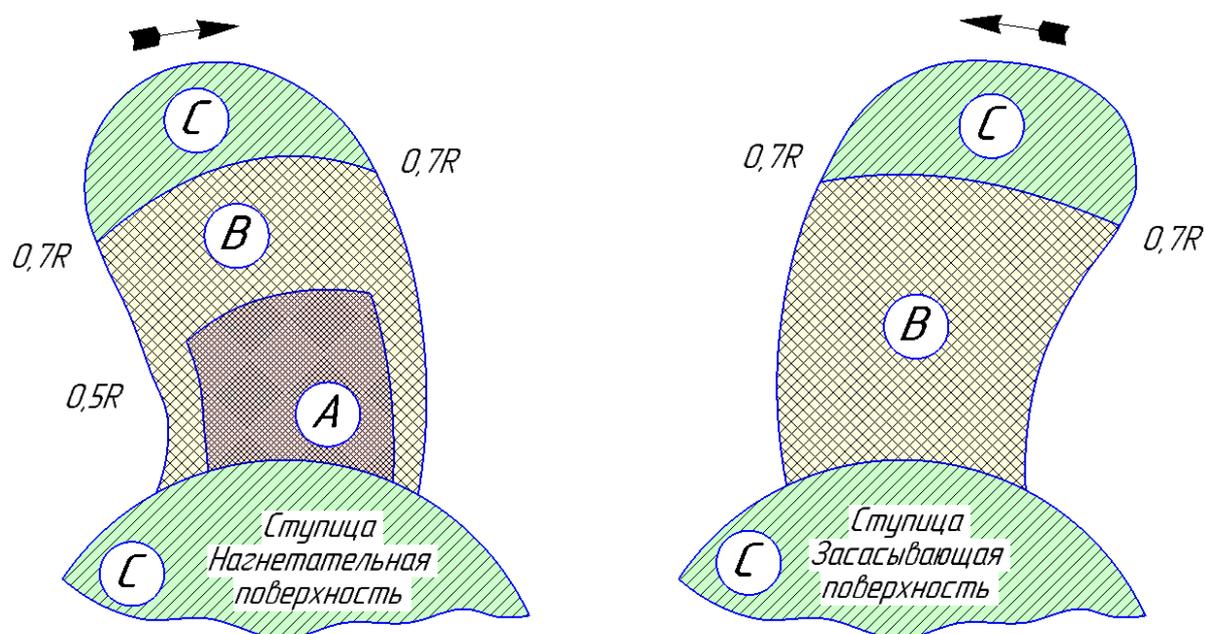


Рисунок 17 – Зоны ответственности на поверхности гребного винта

Наплавка гребных винтов должна выполняться в закрытых помещениях при положительной температуре воздуха, в помещении не должно быть сквозняков. Наплавку выполняют в нижнем положении, возможно расположение винта таким образом, чтобы угол наклона наплавляемой поверхности не превышал 60° . При сварке и наплавке незначительных участков допускается проведение работ с гребным винтом, расположенным на валу.

С применением механических средств проводят разделку дефектного места до здорового металла. необходимо обеспечить пологость кромок, отсутствие острых углов и заусенцев. На расстоянии $10 \dots 15$ мм во все стороны от разделки следует зачистить до металлического блеска поверхность основного металла. Выборку выполняют с применением радиальной шлифовальной машины ИП-2014. При выборке необходимо удалять металл на глубину более 1 мм ниже глубины залегания дефекта. Необходимо обеспечить плавный выход выборки на основной металл, для чего радиус выборки должен быть не менее 60 мм. на рисунке 18 представлена рекомендуемая форма разделки при исправлении коррозионного дефекта на поверхности гребного винта.

Проектная технология предусматривает применение плазменной наплавки и позволяет отказаться от предварительного подогрева перед проведением наплавочных работ.

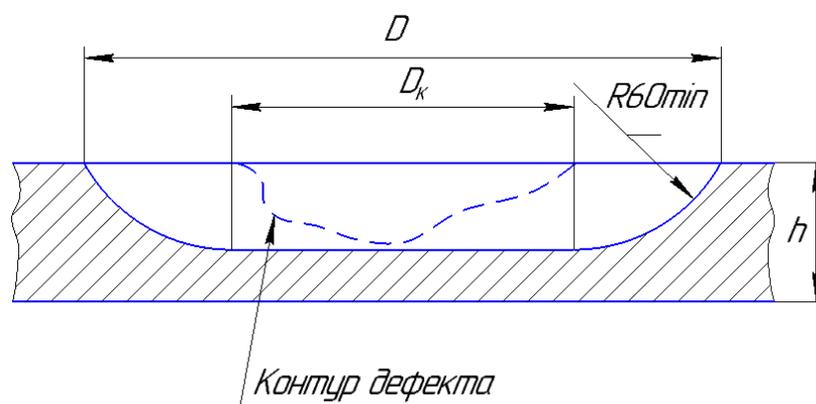


Рисунок 18 – Рекомендуемая форма разделки при исправлении коррозионного дефекта на поверхности гребного винта

Далее выполняют дробеструйную обработку поверхности. Эта операция введена в проектный технологический процесс для улучшения соединения наплавляемого слоя к основе детали. Применяют дробемётную установку SPK DMK-2500-800, которая представлена на рисунке 19.



Р
и

Для питания наплавочной установки применяется представленный на рисунке 20 источник EuTronic GARD 5011 DC. В качестве плазматрона применяется представленный на рисунке 21 плазматрон ПН-03. Этот плазматрон российского производства и предназначен для сварки и наплавки с применением в качестве присадочного материала различных порошков. Плазматрон позволяет выполнять наплавку с производительностью до 8 килограмм в час. Для подачи порошка применяется порошковый питатель барабанного типа производства российской фирмы «Техноплазма» и представленный на рисунке 22. Данный питатель позволяет подавать порошок фракции 40...400 мкм с регулируемым расходом от 0,8 до 15 килограммов в час с погрешностью дозирования 3 %. Объем бункера составляет 3 литра.

У
С
36
Т
а
н
с

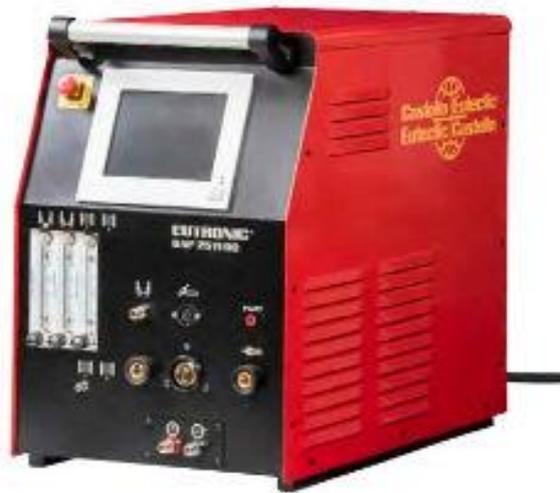


Рисунок 20 – Источник питания сжатой дуги EuTronic GAP 5011 DC



Рисунок 21 – Плазматрон ПН-03



Рисунок 22 – Порошковый питатель барабанного типа

Наплавку ведут на установке, представленной на рисунке 23. В состав установки входит рама-основание, на которой крепятся рабочие элементы, шкаф управления, пульт управления. Позиционирование плазматрона относительно изделия выполняется трехкоординатным модулем перемещения. Наплавляемое изделие закрепляется на столе-вращателе.

При наплавке ток импульса задают 160 ампер при длительности импульса 0,7 с, ток паузы составляет 70 ампер при длительности паузы 0,7 с. Наплавку ведут со скоростью 4,5 метра в час с наложением на траекторию движения колебательных перемещений плазматрона с частотой 0,7 Гц с амплитудой 5 мм. В качестве плазмообразующего и защитного + транспортирующего газа предлагается применить аргон, причем расход транспортирующего + защитного газа оставляет 16 литров в минуту, а расход плазмообразующего газа составляет 1 литр в минуту. При наплавке предлагается применить тугоплавкий компонент в виде порошка Х16С3Р3 и легкоплавкий компонент в виде порошка никеля ПНЭ-2. Расход каждого компонента устанавливается 2,2 килограмма в час.



Рисунок 23 – Комплекс для ремонтной плазменной наплавки

После заполнения выборки и завершения сварки облицовочного шва следует обработать поверхность наплавленного металла шлифовальным кругом, снимая усиление до 1...1,5 мм, далее до получения шероховатости Rz40 поверхность доводят напильником и дисковой металлической щеткой, как это показано на рисунке 24.

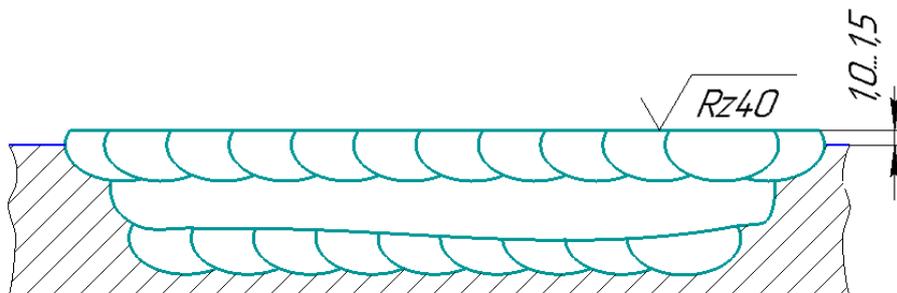


Рисунок 24 – Параметры механической обработки участка наплавки

При проведении неразрушающего контроля выполняют визуальный и измерительный контроль, ультразвуковой контроль, контроль проникающими веществами. При проведении визуального и измерительного контроля длина контролируемого участка должна перекрывать дефектный участок на 100 мм и более. При проведении ультразвукового контроля и контроля проникающими веществами контролируемая площадь должна покрывать площадь дефектного участка на 50 мм во все стороны. Для проведения ультразвукового контроля применяется дефектоскоп Olympus NDT 1000i.

При проведении контроля определяется наличие в наплавленном металле и металле около ремонтируемого участка поверхностных дефектов (незаваренные кратеры, подрезы, свищи, выходящие на поверхность трещины) и внутренних дефектов (расслоения, несплавления, трещины, поры, шлаковые включения). Необходимо принимать во внимание, что в процессе наплавки под действием остаточных напряжений возможно изменение геометрии гребного винта, что отрицательно сказывается на его эксплуатационных характеристиках. Поэтому после выполнения восстановительной наплавки следует проверить геометрию при помощи статической балансировки. В случае перевеса винта снимается часть металла

с засасывающей стороны утяжеленной лопасти, добиваясь, чтобы винт находился в состоянии безразличного равновесия.

Выводы по второму разделу

В втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы описано решение задач, выполнение которых позволяет построить проектную технологию ремонтной наплавки гребных валов. На основании экспертной оценки альтернативных способов наплавки для построения проектной технологии предлагается применить плазменную наплавку. Для расширения технологических возможностей способа наплавки предлагается применить разработку российских исследователей, позволяющую повысить эксплуатационные свойства наплавленного слоя. Составленная проектная технология ремонтной наплавки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования.

Далее следует выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе, посвященном обеспечению промышленной и экологической безопасности, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности [3], [11]. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии, на основании которого можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство [13], [19]. Последующее заключение должно содержать выводы и доказательство достижения поставленной цели с рекомендациями по внедрению и направлению исследований в рассматриваемой области наук.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

В рассматриваемом в настоящем экологическом разделе выполняется анализ проектной технологии восстановительной наплавки гребных винтов судов. На основании экспертной оценки рассматриваемых способов принято решение применить плазменную наплавку, для повышения эффективности которой у внедрению предлагаются разработки российских исследователей-сварщиков в области управления сварочными процессами. Применение предлагаемых решений на производственном участке позволяет получить технологический эффект в виде повышения производительности и качества работ по восстановлению гребных винтов судов, однако целесообразность внедрения предлагаемых решений в современное производство требует оценки возможности эффективно нейтрализовать возникающие при реализации проектной технологии негативные производственные факторы, пожарную опасность и антропогенное действие производственного участка на окружающую среду. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 3, которая дает начальную информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Применяемое на участке оборудование становится основным источником опасных и вредных производственных факторов помимо условий выполнения работ, которые также в дальнейшем будут учтены при идентификации негативных производственных факторов и выработке решений по их эффективной нейтрализации.

Таблица 3 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки отливок из алюминиевых сплавов

Наименование операции	Персонал	Оборудование и материалы
«Выборка дефектного участка	Слесарь-сборщик, дефектоскопист	- шлифовальная машина - металлическая щетка - набор визуального и измерительного контроля - набор капиллярного контроля - гибкие шаблоны
Дробеметная обработка	Слесарь-сборщик	- моечная установка - дробеметная установка - ацетон - дробь стальная - моечный раствор
Заварка дефекта	Электросварщик на полуавтоматических и автоматических машинах	- установка наплавки - источник питания - плазматрон - компрессор - газовая аппаратура - наплавочные порошки
Механическая обработка	Слесарь-сборщик	- шлифовальная машина - металлическая щетка - набор визуального и измерительного контроля
Контроль качества» [9]	Дефектоскопист	- набор визуального и измерительного контроля - набор капиллярного контроля - ультразвуковой дефектоскоп

Представленный в таблице укрупненный анализ проектной технологии позволяет в дальнейшем выполнить формулировку опасных и вредных производственных факторов, возникающих при выполнении каждой операции.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении операций проектного технологического процесса персонал подвергается воздействию набора негативных производственных факторов, перечень которых для каждой операции представлен в таблице 4, позволяющей в дальнейшем синтезировать алгоритмы и методики защиты персонала предприятия в соответствии с действующими нормативами.

Таблица 4 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Выборка дефектного участка	<ul style="list-style-type: none"> - «острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Дробеметная обработка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током
Заварка дефекта	<ul style="list-style-type: none"> - чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Механическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень ультразвуковых колебаний - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения» [11]

Представленные в таблице неблагоприятные производственные факторы могут быть разделены на вредные производственные факторы и опасные производственные факторы. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. К второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая. Идентифицированные факторы относятся к факторам, ранее возникающим на предприятии, для их нейтрализации может быть применен стандартный набор средств.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

На основании представленного в таблице перечня негативных производственных факторов, который сформулирован по требованиям ГОСТ 12.0.003-2015, может быть составлен перечень средств, обеспечивающих защиту персонала, который представлен в таблице 5. При анализе рассматриваемых негативных «факторов они могут быть условно разделены на две группы. К первой группе относят такие факторы, действие которых на персонал (длительное или кратковременное) может привести к получению травмы или прерыванию жизненных функций, такие факторы относят к опасным. Ко второй группе относятся вредные факторы» [11], действие которых на человека может спровоцировать возникновение профессиональных заболеваний или усугубить их протекание. Следует принимать во внимание кумулятивный эффект, выражающийся в накоплении вредного действия в течение длительного времени, которое может никак не проявлять себя, однако в дальнейшем проявляет себя в резкой форме, например, длительное воздействие на зрительные органы яркого света и ультрафиолетового излучения от дуги со времени вызывает помутнение хрусталика и отслойку сетчатки у сварщика. Также длительное вдыхание сварочных аэрозолей становится причиной заболевания органов дыхания и печени. Также при анализе негативных факторов следует принимать во внимание их комплексное воздействие, выражающееся во взаимном усилении негативной формы действия при одновременном действии нескольких факторов. Составление перечня мер по защите персонала должно базироваться на принципе комплексности, предусматривающем устранение вредного воздействия всех возникающих негативных факторов на всех этапах технологического процесса. Особое внимание следует уделить поддержанию трудовой дисциплины и порядка на рабочем месте, нарушение которых является основной причиной возникновения несчастных случаев на производстве.

Таблица 5 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски

Анализ данных таблицы позволяет судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

При выполнении наплавочных работ приходится считаться с повышением опасности возникновения на производственном участке пожара. Источником возгорания может служить сама сжатая дуга, горение которой сопровождается интенсивным тепловым и ультрафиолетовым излучением, нагретые элементы конструкции, брызги расплавленного металла. Кроме того, для выполнения плазменной наплавки необходимо «подвод электрической мощности, нарушение в работе электрического оборудования может также являться причиной возникновения пожара. В таблице 6 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 6 – Идентификация пожара на производственном участке

Наименование участка	Участок восстановительной наплавки гребных винтов судов
Наименование оборудования	Помывочная машина, дробеметная камера, установка наплавки, источник питания, газовая аппаратура, плазматрон
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [11]

При возникновении на рассматриваемом участке пожара, неминуемо возникают его опасные факторы. К таким фактора относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. В таблице 7 представлены средства, обеспечивающие

устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 7 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [11]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Планирование противопожарных мероприятий следует выполнять с учётом приоритетности предупредительных мероприятий. Особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания. Запрещается сваливание на участке мусора (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности. Запрещается работа на неисправном сварочном оборудовании. Необходимо проведение учений по пожарной безопасности и обеспечение участка средствами первичного пожаротушения. Запрещается работа на неисправном оборудовании. Участок, на котором выполняются наплавочные работы, должен быть оснащен аппаратурой аварийного отключения питания от технологических установок в случае возникновения внештатной ситуации. Необходимо оснащение участка планом эвакуации и средствами оповещения.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Реализация процессов в современном производстве рассматривается не только с точки зрения технологической эффективности и безопасности труда, но и должно отвечать требованиям экологической безопасности, что предусматривает минимизацию наносимого окружающей среде ущерба со стороны предприятия. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс ремонтной наплавки при восстановлении работоспособности гребных винтов судов, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Далее представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов. Для защиты атмосферы вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в «ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм» [11]. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы следует обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку на литосферу.

Выводы по экологическому разделу

Углубленный анализ проектной технологии восстановительной наплавки гребных винтов судов с применением плазменной наплавки позволил сформулировать перечень опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии на рассматриваемом участке. Для обеспечения требуемого уровня безопасности труда применяются стандартные средства и организационные мероприятия. Как показала экспертная оценка их эффективности, необходимый уровень безопасности обеспечивается с применением стандартных средств, и проведения специальной разработки не требуется. Проведенная оценка пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволила сформулировать перечень средств и мероприятий по повышению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Далее был рассмотрен вопрос обеспечения требуемого уровня защиты окружающей среды от антропогенного воздействия со стороны производственного участка. В настоящем разделе составлен перечень мероприятий по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Таким образом на основании выполнения настоящего оценочного (экологического) раздела следует сделать вывод, что предлагаемая проектная технология не нарушает установленных нормативной документацией требований по производственной, пожарной и экологической безопасности.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки гребных винтов. В качестве типовой детали для наплавки рассматривается гребной винт из нержавеющей стали, предназначенный для работы в условиях коррозионного действия морской воды. В втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы описано решение задач, выполнение которых позволяет построить проектную технологию ремонтной наплавки гребных валов. На основании экспертной оценки альтернативных способов наплавки для построения проектной технологии предлагается применить плазменную наплавку. Для расширения технологических возможностей способа наплавки предлагается применить разработку российских исследователей, позволяющую повысить эксплуатационные свойства наплавленного слоя. Составленная проектная технология ремонтной наплавки. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 8. Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии наплавки судовых винтов.

Таблица 8 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	1500 тыс.	4000 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	10	30
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	240	240
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [13]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования F_H и эффективный фонд времени работы оборудования F_3 , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_H в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для «расчётов принимается количество смен $K_{см}=1$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчётов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчётов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [13] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_3= 2054$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [13] выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 14 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 17$ часов. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 8,3 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 10$ часов.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования F_3 и штучного времени $t_{шт}$ как

$$\Pi_{\Gamma} = F_3 / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/17 = 121$ исправляемых винт в год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/10 = 205$ исправляемых винтов за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 100$ исправляемых винтов за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [13]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч}} = 17 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,8$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч}} = 10 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,5$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет по одному. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,8/1 = 0,8$ и $K_3 = 0,5/1 = 0,5$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $N_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [13]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M=240 \cdot 20 \cdot 1,05=5040$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $M_{\text{баз}}=90 \cdot 12 \cdot 1,05+50 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 1,05=1134+2835=3969$ руб.

«Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=300$ руб., $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$ » [13]:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} . \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 300 \cdot 17 \cdot 1,88=9588$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 300 \cdot 10 \cdot 1,88 = 5640$ руб.

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 9588 \cdot 0,12 = 1150$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 5640 \cdot 0,12 = 677$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$\text{ФЗП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (10)$$

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 9588 + 1150 = 10738$ руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 5640 + 677 = 6317$ руб.

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, значение которого для рассматриваемого» [13] производства из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}} = 0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 10738 \cdot 0,34 = 3651$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 6317 \cdot 0,34 = 2148$ руб. Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ и затраты на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. При расчете величины $A_{\text{об}}$ применяются ранее определенные значения $F_{\text{э}}$ и $t_{\text{маш}}$, а также принятые для рассматриваемого

производства норма амортизации H_a и стоимость оборудования $\Pi_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 1500000 \cdot 21,5 \cdot 17 / 2054 / 100 = 2670$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 4000000 \cdot 21,5 \cdot 10 / 2054 / 100 = 4187$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{ээ}$ выполняется применяется цена электрической энергии $\Pi_{ээ}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{ээ}$:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 10 \cdot 17 \cdot 3,4 / 0,7 = 826$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 30 \cdot 10 \cdot 3,4 / 0,85 = 1200$ руб.

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{ээ}$:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об} = 2670 + 826 = 3496$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 4187 + 1200 = 5387$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат

на материалы M , фонда заработной платы $\PhiЗП$, отчислений на социальные нужды O_{cc} , затрат на оборудование $Z_{об}$:

$$C_{тех} = M + \PhiЗП + O_{cc} + Z_{об}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 5040 + 10738 + 3651 + 3496 = 22925$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{тех} = 3969 + 6317 + 2148 + 5387 = 17821$ руб..

Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{цех}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{цех}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{цех}=1,5$. Расчёт величины $C_{цех}$:

$$C_{цех} = C_{тех} + Z_{осн} \cdot K_{цех}. \quad (16)$$

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех}=22925 + 1,5 \cdot 9588 = 22925 + 14382 = 37307$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{цех}=17821 + 1,5 \cdot 5640 = 17821 + 8460 = 26281$ руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{цех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{зав}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{зав}=1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$ » [13]:

$$C_{зав} = C_{цех} + Z_{осн} \cdot K_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{зав} = 37307 + 1,15 \cdot 9588 = 37307 + 11026 = 48333$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{зав} = 26281 + 1,15 \cdot 5640 = 26281 + 6486 = 32767$ руб.

Для анализа которых на рисунке 25 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса. Калькуляция представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1 «Затраты на материалы»	М	5040	3969
2 Фонд заработной платы	ФЗП	10738	6317
3 Отчисления на соц. нужды	Осн	3651	2148
4 Затраты на оборудование	Зоб	3496	5387
5 Технологическая себестоимость	Стех	22925	17821
6 Цеховые расходы	Рцех	14382	8460
7 Цеховая себестоимость	Сцех	37307	26281
8 Заводские расходы	Рзав	11026	6486
9 Заводская себестоимость» [13]	Сзав	48333	32767

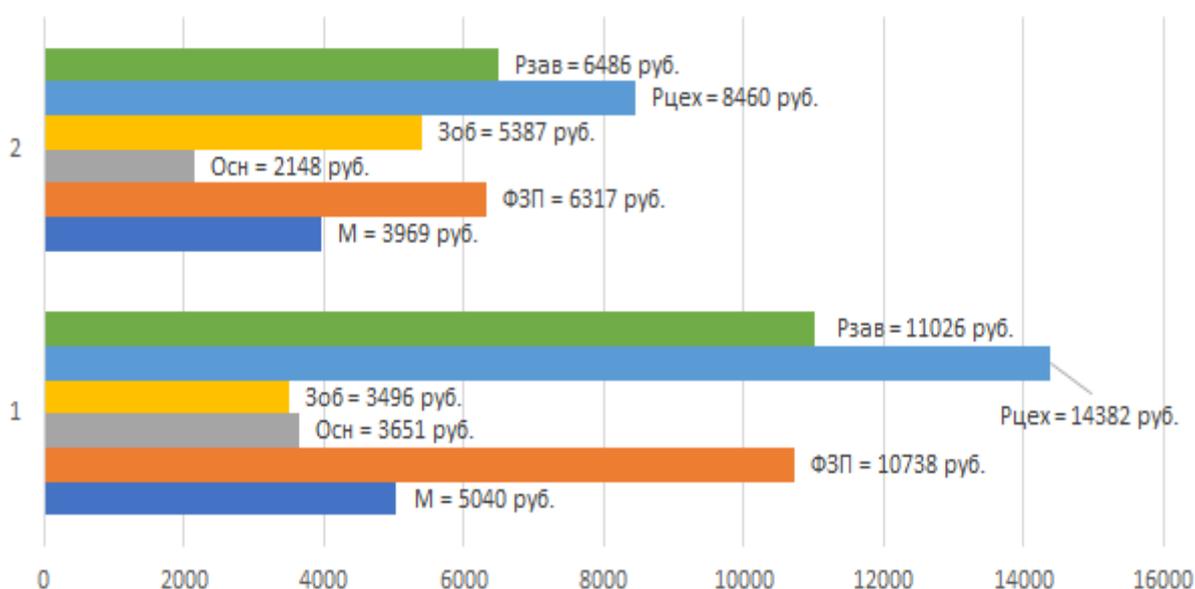


Рисунок 25 – Состав заводской себестоимости

Далее для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

«Первоначально следует определиться с величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=3$ года и цене оборудования $\Pi_{перв.}= 1500$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5 \%$ » [13]:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 1500000 - (1500000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 532500$ руб.

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 532500 \cdot 0,8 = 426000 \text{ рублей}. \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,5$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}= 4000$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{zп} = 4000000 \cdot 1,05 \cdot 0,5 = 2100000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}= 40$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 1500000 \cdot 0,05 = 75000 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $C_{\text{об.пр.}}=800$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 4000000 \cdot 0,05 = 200000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{монт}}$:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 75000 + 200000 = 275000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

Величину капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ.пр.}}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 2100000 + 275000 = 2375000 \text{ руб.} \quad (24)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б.}}$ и капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ. пр.}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 2375000 - 426000 = 1949000 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{Г}}$:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [13] затрат составляет $K_{\text{уд}} = 426000/100 = 4260$ рублей за один гребной винт судна. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 2375000 / 100 = 23750$ рублей за один гребной винт судна.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа показателей экономической эффективности. Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт \text{ б}} - t_{шт \text{ пр}}) \cdot 100 \% / t_{шт \text{ б}} = (17-10) \cdot 100 \% / 17 = 41 \% . \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 41 / (100 - 41) = 69 \% . \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} = (22925 - 17821) \cdot 100\% / 22925 = 22 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ по вариантам технологии и годовой программы Π_T :

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_T = (48333 - 32767) \cdot 100 = 1556600 \text{ рублей.} \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $T_{\text{ок}}$:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 194900 / 1556600 = 0,2 \text{ года.} \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта \mathcal{E}_T с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H=0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_H \cdot K_{\text{доп}} = 1556600 - 0,33 \cdot 194900 = 1492283 \text{ рублей.} \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В исполнительском разделе рассматривался вопрос построения технологии восстановительной наплавки прессовых штампов. Базовый процесс предусматривает применение ручной дуговой наплавки. Проведено обоснование применения плазменной порошковой наплавки для реализации проектной технологии. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учетом исходных данных и рассчитанных временных параметров процесса в базовом и проектном вариантах технологии выполнен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ. При расчётах установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения наплавочных работ. Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 41 %, производительность процесса повышается на 69 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 33 %. При капитальных вложениях 258 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,22 года, а экономический эффект составляет 1,047 млн. рублей.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки гребных винтов. В качестве типовой детали для наплавки рассматривается гребной винт из нержавеющей стали, предназначенный для работы в условиях коррозионного действия морской воды.

Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки специальными электродами. Помимо высокой трудоемкости и тяжелых условия труда сварщика, которые характеризуют применение ручной дуговой наплавки, этот способ не позволяет получить требуемых эксплуатационных характеристик восстановленного гребного винта, что заставляет искать способы совершенствования базовой технологии восстановительной наплавки.

На основании экспертной оценки альтернативных способов наплавки для построения проектной технологии предлагается применить плазменную наплавку. Для расширения технологических возможностей способа наплавки предлагается применить разработку российских исследователей, позволяющую повысить эксплуатационные свойства наплавленного слоя. Составленная проектная технология ремонтной наплавки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования.

На основании выполнения настоящего оценочного (экологического) раздела следует сделать вывод, что предлагаемая проектная технология не нарушает установленных нормативной документацией требований по производственной, пожарной и экологической безопасности.

Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 41 %, производительность процесса повышается на 69 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 33 %. Экономический эффект составляет 1,047 млн. рублей.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Алван Хуссам Лефта Алван Повышение кавитационной стойкости поверхности деталей нанесением защитного покрытия : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург. 2022.
2. А.с. 1562082 МКИ В23К9/04 Способ плазменно-порошковой наплавки модулированным током / Дедюх Р. И., Азаров Н. А., Звирь Ю. В. Заявл. 15.06.88. Оpubл. 07.05.90, Бюл. № 17. 3 с.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Бискуп Б. А., Терлецкий М. Н. Прочность гребных винтов. Л. : Судостроение, 1973. 168 с.
5. Бледнова Ж. М., Мазутов Н. А., Починков Р. А. Технологические методы повышения надежности лопастей гребного винта // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2010. № 1. С. 117-127.
6. Бледнова Ж.М., Степаненко М.А. Структура и свойства TiNi-покрытий с ЭПФ, полученных лазерной наплавкой // Известия вузов. Сев.-Кавказ. регион. Технические науки. – 2005. № 12. С. 21-27.
7. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
8. Веселков В. В., Афанасьев Н. А., Жмуренков А. Г. Разработка высокопроизводительных технологий лазерной сварки и наплавки для современного судостроения // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2017. № 1. С. 143–156.
9. Георгиевская Е.П. Кавитационная эрозия гребных винтов и методы борьбы с ней. Л.: Судостроение. 1978. 208 с.
10. Горбаченко Е. О., Цветков Ю. Н. Использование результатов измерения шероховатости поверхности для прогнозирования долговечности

материалов гребных винтов при кавитационном изнашивании // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. № 4. С. 53-66.

11. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

12. Кацман Ф. М., Дорогостайский Д. В. Теория судна и движители: учеб. Л.: Судостроение, 1979. 280 с.

13. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

14. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.

15. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

16. Луценко В. Т. Конструктивно-технологическое обеспечение надежности элементов подводной части морских судов. Ч.3. Закономерности распределения эксплуатационных повреждений и затраты на поддержание надежности элементов движительно-рулевых комплексов. Владивосток: Изд. ДВГТУ, 2007. 126 с.

17. Москаленко М. А., Москаленко В. М., Гвоздев В. П. Некоторые особенности разрушения лопастей гребных винтов из нержавеющей стали морских судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2024. № 1. С. 15-23.

18. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

19. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

20. Починков Р.А., Файвисович А.В. Методические подходы к прогнозированию начальной стадии усталостного разрушения // Известия вузов. Сев. Кавказ. регион. Технические науки. 2008. С. 1-10.

21. Стецуковский, Е.В., Переплетчиков Е. Ф. Перспективы применения плазменной наплавки в судовом машиностроении // Судостроение. 2013. №4. С. 95–98.

22. Шашина А. С., Обловацкая Н. С., Шишкина А. В. Анализ возможности применения наплавочных технологий для изделий судового машиностроения // Судостроение. 2023. № 7. С. 82-86.