

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)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология восстановления и упрочнения вала
прокатного стана

Студент

В.В. Чебоксаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Л. Фёдоров

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2020

Аннотация

С точки зрения металлоёмкости ремонт деталей оборудования и транспорта требует меньших затрат материалов, чем выпуск новых деталей. Кроме того, проведение ремонта требует меньших временных затрат, чем изготовление новой детали. В связи с этим, организация ремонта будет экономически эффективнее, чем выпуск новых деталей.

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения восстановительной наплавки валов прокатного стана. На основании проведённого анализа возможных способов ремонтной наплавки принято решение о замене ручной дуговой наплавки штучными электродами на наплавку в защитном газе проволокой сплошного сечения. За счёт замены способа восстановительной наплавки и предполагается получить снижение трудоемкости восстановительной наплавки и повышение качества выполнения работ.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы решены задачи: 1) выполнить обзор альтернативных способов восстановительной наплавки и обосновать выбор оптимального способа восстановления изношенных валов прокатного стана; 2) повысить эффективность восстановительной наплавки применительно к рассматриваемому изделию; 3) составить технологии восстановительной наплавки и подобрать оборудование для её реализации.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,2 млн. рублей.

Полученные результаты рекомендуются к использованию в производстве при выполнении восстановительной наплавки валов.

Содержание

Введение	5
1 Анализ состояния вопроса	7
1.1 Описание изделия и условий его работы	7
1.2 Сведения о материале изделия	9
1.3 Базовая технология восстановительной наплавки	10
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	14
2 Проектная технология восстановительной наплавки изделия	15
2.1 Обзор альтернативных способов восстановительной наплавки	15
2.2 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки	20
2.3 Приспособления для наплавки	22
2.4 Планировка участка	26
2.5 Повышение эффективности наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения	27
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений ...	29
3.1 Технологическая характеристика объекта	29
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений	30
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	31
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	32
3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений	34
3.6 Заключение по разделу	35
4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений	36
4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов ..	36
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	38

4.3 Расчет штучного времени	39
4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки . . .	43
4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам	49
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений	54
Заключение по экономическому разделу	56
Заключение	58
Список используемой литературы	59

Введение

При изготовлении новых деталей, и восстановлении работоспособности изношенных деталей расходуются значительные материальные ресурсы. Современное промышленное предприятие, осуществляющее массовый выпуск продукции, каким является прокатный стан, расходы на приобретение запасных деталей составляют по стоимости – до 50 %, по трудоёмкости – до 40 %. Сокращение расходов, связанных с поддержанием работоспособности оборудования является важной задачей. Решение этой задачи лежит в области совершенствования способов восстановления изношенных деталей.

Типовой деталью, требующей восстановления, является шестигранный вал, у которого происходит интенсивный износ граней. В настоящее время восстановление производится с применением наплавки штучными электродами. Это процесс является малопроизводительным.

С точки зрения металлоёмкости ремонт деталей оборудования и транспорта требует меньших затрат материалов, чем выпуск новых деталей. Кроме того, проведение ремонта требует меньших временных затрат, чем изготовление новой детали. В связи с этим, организация ремонта будет экономически эффективнее, чем выпуск новых деталей. Таким образом, приоритетным направлением ресурсосбережения является восстановление работоспособности элементов оборудования и транспорта.

Современные технологии позволяют не только обеспечить свойства восстановленных деталей на уровне новых деталей, но и существенно улучшить эксплуатационные свойства по сравнению с новыми деталями. Таким образом, восстановление деталей машин приводит к стиранию грани между первичными и вторичными ресурсами. Вторичные ресурсы становятся новым, альтернативным источником материальных и технических благ.

Как показывает статистика, выпуск техники отечественными предприятиями снизился в 20...30 раз по отношению к 2000 году [3].

Эксплуатация оборудования и транспорта происходит в условиях резкого сокращения поставок. В связи с этим остро стоит вопрос обеспечения потребности в запасных частях. На фоне наблюдающегося дефицита запасных частей и повышения стоимости импортных деталей следует признать актуальной задачу выбора рационального способа восстановления валов прокатного стана и построения технологического процесса восстановления на основе современных достижений техники и науки. Это позволит не только уменьшить простои оборудования, но и получить экономию трудовых, материальных и энергетических ресурсов.

Таким образом, становится актуальной цель проекта – повышение производительности и эксплуатационных свойств при восстановлении шестигранных валов из стали 45Х.

1 Анализ состояния вопроса

1.1 Описание изделия и условий его работы

Перемещение барабанов и валков в горизонтальном направлении выполняется при помощи механизма перемещения валков. Привод механизма перемещения приводится в движение при помощи электродвигателя МТКМ-371-6, мощность которого составляет 5,5 кВт, а частота вращения – 910 об/мин. Вращение передаётся посредством цилиндрического редуктора и червячной передачи. Общее передаточное число равно 100. Нажимные вины перемещаются с линейной скоростью до 1,9 мм/с, длина хода составляет 120 мм.

Профиль рабочей поверхности шестигранного вала представляет собой шестигранник, вписанный в окружность диаметром 200 мм, у которого углы сточены под диаметр 190 мм. При износе вала происходит сминание и стачивание граней шестигранника до диаметра окружности 178 мм (рис. 1.2). При этом дальнейшая работа вала не допускается.

В результате износа вала шредера происходит качание валков относительно вала и друг друга, нарушение угла их установки относительно друг друга. Вследствие этого не только существенно снижается производительность формования, но и ускоряется износ самих валков и вала, появляется вероятность аварийного разрушения прокатного стана.

Стоимость нового вала с доставкой из Китая составляет 10 тыс. евро, поэтому целесообразно рассмотреть возможность самостоятельного восстановления вала. При этом общее количество восстанавливаемых валов с учётом поставки их для аналогичных предприятий составит порядка 1200 штук в год.

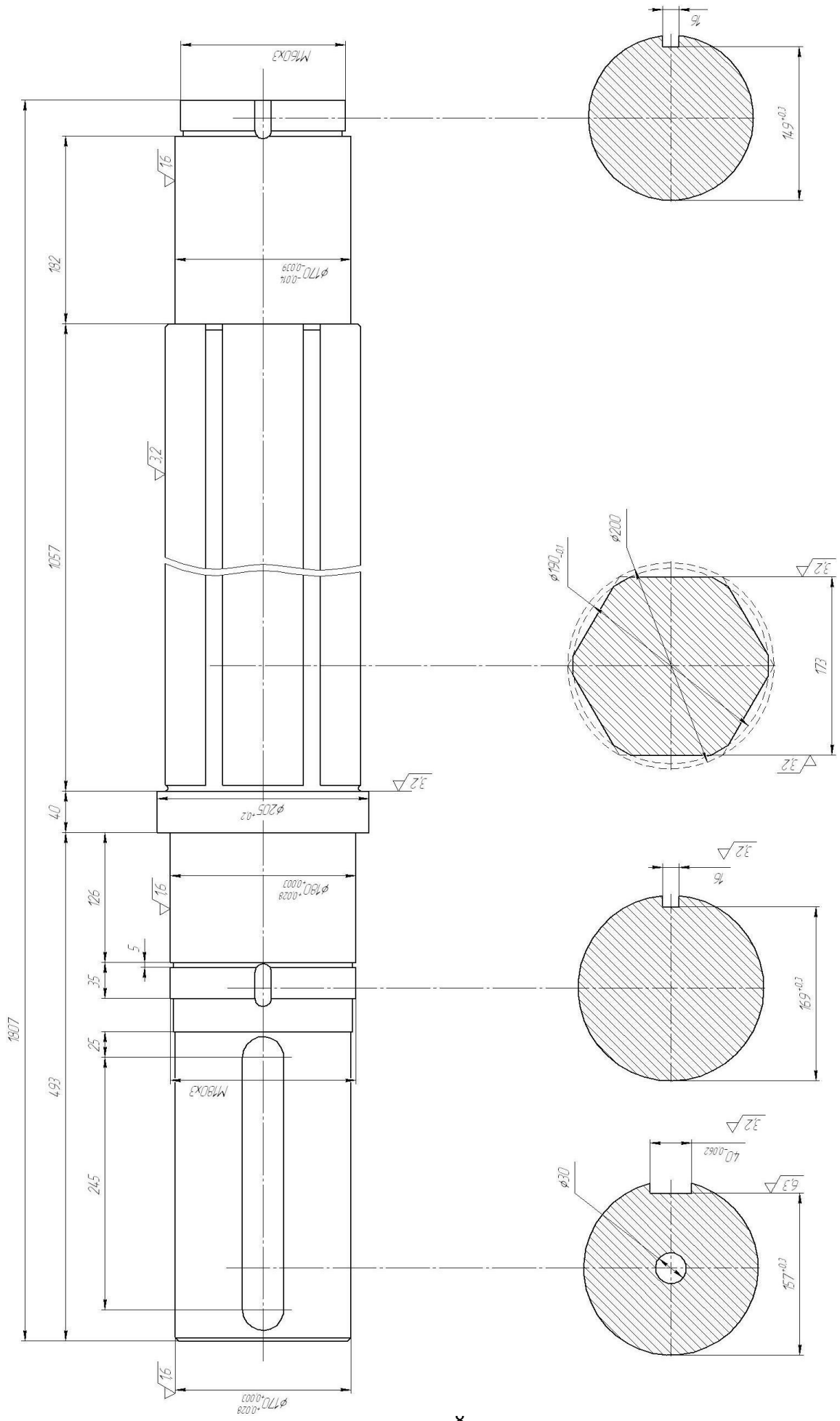


Рисунок 1.1 – Вал шестигранный

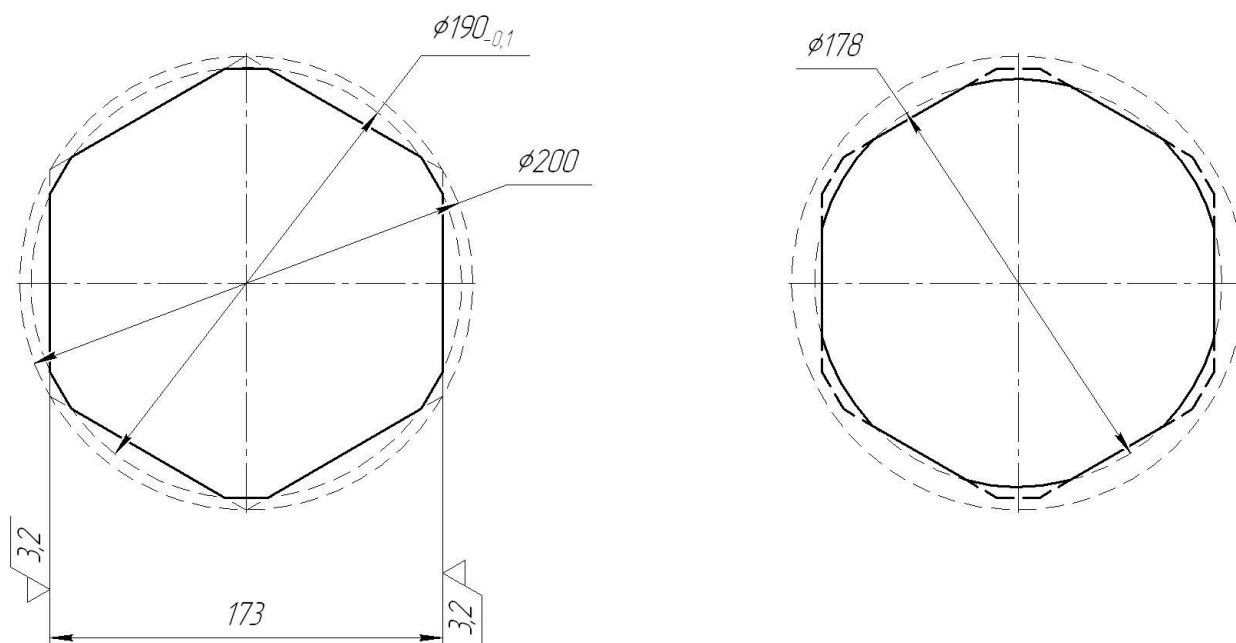


Рисунок 1.2 – Вал новый и изношенный

1.2 Сведения о материале изделия

Вал изготавливается из стали 45Х или её аналогов. Сталь 45Х относится к углеродистым качественным конструкционным сталям [9].

Таблица 1.1 – Содержание химических элементов в стали 45

Углерод	Кремний	Марганец	Никель	Сера	Фосфор	Хром	Медь	Мышьяк
0,41 – 0,49	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8 – 1,1	до 0,3	до 0,08

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 45Х

Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное		Ударная вязкость, кДж/м ²
		Удлинение, %	Сужение, %	
835	1030	9	45	490

Поскольку в стали 45Х повышенное содержание углерода, при сварке такой стали приходится сталкиваться со следующими трудностями, зачастую нерешаемыми:

- 1) возникновение в околошовной зоне холодных трещин;
- 2) возникновение в металле шва горячих трещин;

3) сварное соединение не может быть получено со свойствами, близкими к свойствам основного металла.

Сталь 45Х обладает следующими полезными свойствами:

- высокие эстетические и декоративные качества
- устойчивость к резким перепадам температур;
- высокая механическая прочность;
- пониженная чувствительность к коррозии.

Анализ свариваемости стали 45Х позволит выбрать подходящие способы и режимы сварки. Согласно применяемым на практике методикам оценки свариваемости материалы, не способные соединяться сваркой одним способом могут быть успешно соединены другим способом. Или посредством применения специальных технологических приемов. Это следует из того, что методики оценки свариваемости учитывают свойства свариваемого материала, технологию сварки, конструктивные особенности сварного узла и особенности его эксплуатации.

Сталь 45Х может быть отнесена к 4 группе по свариваемости – трудносвариваемая. При сварке таких сталей высокая вероятность получения закалочных структур, возникновения холодных трещин. Сварка таких сталей должна сопровождаться специальными технологическими приемами.

1.3 Базовая технология восстановительной наплавки

Исходным (базовым) вариантом восстановительной наплавки может считаться ручная дуговая наплавка штучными электродами. Для этого применяется сварочный выпрямитель ВД-301 (рис. 1.3, а), параметры технической характеристики которого позволяют получать наплавленные изделия необходимого качества. Регулирование тока, формирование круто падающей характеристики и компенсация постоянной составляющей тока осуществляется балластным реостатом РБ. Стол, на котором выполняется

восстановительная наплавка, оснащён местной вытяжной вентиляцией и имеет защитное ограждение из светонепроницаемых экранов.

Перед выполнением восстановительной наплавки следует провести прокалику сварочных электродов; параметр режима прокалики: температура прокалики – 300...350 °С, длительность прокалики – 1 час, последующее охлаждение выполняется на воздухе. После проведения прокалики срок хранения электродов составляет не более одних суток. В противном случае перед наплавкой следует провести повторную прокалику сварочных электродов.

Перед наплавкой необходимо очистить поверхность от грязи, жира и ржавчины. В противном случае в наплавленном металле возможно образование пор. Также перед наплавкой следует удалить механическим способом все поверхностные дефекты и наклепанный слой. Если поверхность имеет неравномерную выработку и большие колебания по высоте, следует выровнять её механическим с использованием металлорежущего оборудования. Следует выполнить зачистку подготовленных под наплавку поверхностей и прилегающих к ним участков. Ширина зачистки должна быть не менее 10 мм.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Оборудование для выполнения восстановительной наплавки:
а) сварочный выпрямитель ВД-301; б) универсальный фрезерный станок СФ676

Перед наплавкой предварительного слоя следует выполнить предварительный подогрев изделия. Температура предварительного нагрева составляет 200...300 °С.

После предварительного нагрева выполняют наплавку предварительного слоя, толщина которого составляет 2...4 мм. Наплавку выполняют в нижнем положении. Наплавку производят по образующим (рис. 1.4). Параметры режима наплавки: ток – постоянный, полярность – обратная, диаметр электрода – 4 мм, напряжение – 18...24 В, ток наплавки – 170...200 А. Чтобы предотвратить выгорание легирующих элементов, следует поддерживать длину дуги не более одного диаметра электрода. При наплавке следует вести электрод наклонно под углом 15... 20° к направлению движения. Следует прилагать поперечные колебания к концу электрода, которые позволяют получить ширину наплавленного слоя приблизительно в 2,5...3 раза превышающую диаметр электрода. Следует обеспечить перекрытие каждого предыдущего валика последующим валиком, при этом величина перекрытия должна составлять 30...50 % ширины валика. При наплавке следует соблюдать припуск на механическую обработку, который составляет 2,5...4 мм.

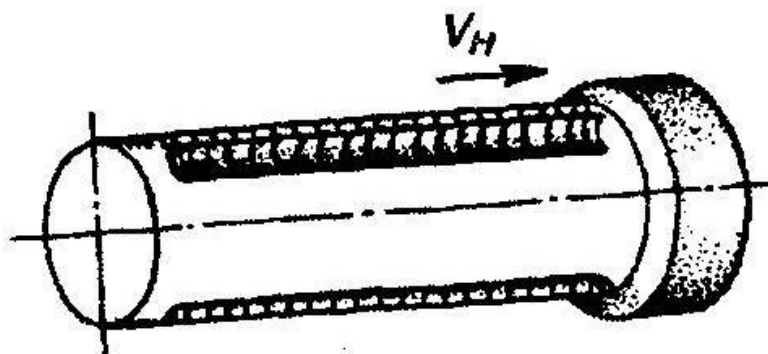


Рисунок 1.4 – Восстановительная наплавка вала по образующим

Восстановительную наплавку ведут электродами ОЗН-300, которые позволяют получить наплавленный слой с удовлетворительным составом (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Химический состав наплавленного металла, %, полученного при использовании электродов ОЗН-300

Углерод	Кремний	Марганец	Сера	Фосфор
			не более	
0,09...0,14	до 0,15	3,6-4,5	0,030	0,040

Применение при наплавке электродов ОЗН-300 позволяет отказаться от смягчающей термообработки и выполнять механическую обработку сразу после наплавки и остывания изделия.

Если наплавка выполняется в несколько слоев, следует проводить тщательную зачистку каждого предыдущего слоя до чистого металла. После выполнения восстановительной наплавки удаляют шлак и передают деталь на механическую обработку. Для формирования шестигранника применяют универсальный станок СФ 676 (рис. 1.3, б).

Базовая технология с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами обладает рядом недостатков:

- 1) поскольку используется ручная дуговая наплавка, условия труда сварщика являются тяжёлыми, они не только вредят здоровью персонала, но и отрицательно сказываются на качестве наплавки;
- 2) при наплавке штучными электродами возникает большое число дефектов, восстановленные валы имеют неудовлетворительную стойкость;
- 3) ручная дуговая наплавка характеризуется малой производительностью и существенными потерями на разбрызгивание и огарки, кроме того, увеличение расхода электродного металла происходит по причине необходимости исправления брака наплавочных работ.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Во введении к выпускной квалификационной работы сформулирована цель – повышение производительности и эксплуатационных свойств при восстановлении шестигранных валов из стали 45Х.

Анализ базовой технологии восстановительной наплавки с применением ручной дуговой наплавки позволил сформулировать ряд недостатков, устранение которых приведёт к достижению поставленной цели. Ждя этого следует сформулировать задачи, решению которых и будет посвящена выпускная квалификационная работа:

1) выполнить обзор альтернативных способов восстановительной наплавки и обосновать выбор оптимального способа восстановления изношенных валов прокатного стана;

2) повысить эффективность восстановительной наплавки применительно к рассматриваемому изделию;

3) составить технологи восстановительной наплавки и подобрать оборудование для её реализации.

2 Проектная технология восстановительной наплавки изделия

2.1 Обзор альтернативных способов восстановительной наплавки

В настоящее время промышленно внедрены следующие технологии восстановления и упрочнения, которые могут быть применены при ремонте валов прокатного стана [1, 4...8]:

- ручной дуговой наплавки штучными электродами;
- наплавкой под флюсом;
- наплавкой проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- наплавка порошковыми самозащитными проволоками;
- плазменная наплавка.

Самым простым и давно используемым способом наплавки можно считать **ручную дуговую наплавку штучными электродами** (рис. 2.1).

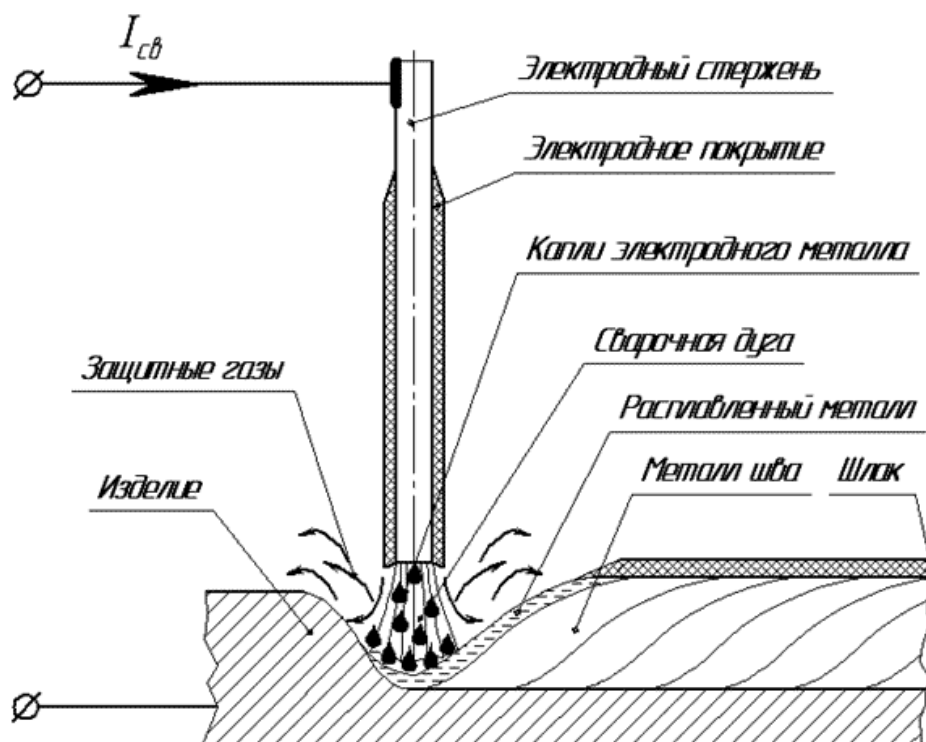
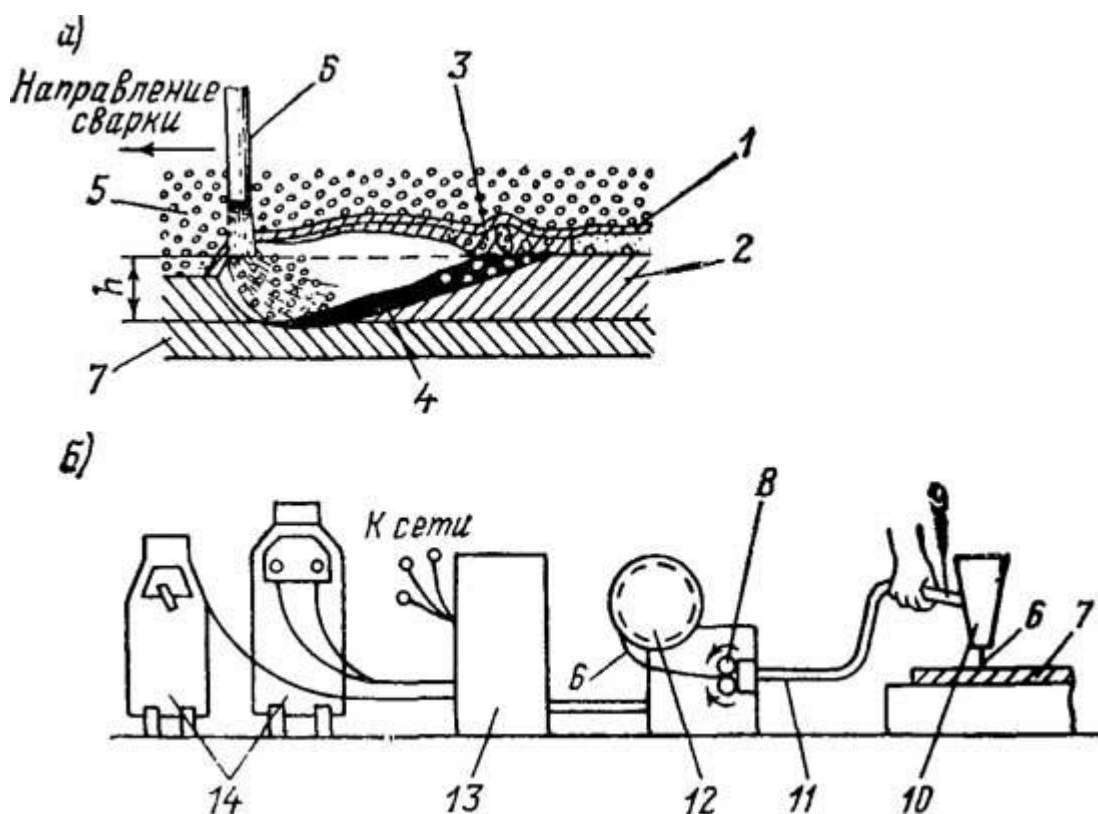


Рисунок 2.1 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучными электродами

Преимуществами этого способа являются простота применяющегося оборудования, составления технологии и метрологического обеспечения. При условии обеспечения равномерного плавления металла электрода и обмазки можно гарантировать качественную шлаковую защиту наплавленного слоя. За счёт обмазки электрода существует возможность дополнительного легирования наплавленного металла. Несмотря на своё широкое и давнее применение, ручная дуговая наплавка имеет ряд недостатков, которые в настоящий момент заставляют искать более перспективные способы восстановления деталей. Первым таким недостатком является малая производительность наплавочных работ. Вторым недостатком является тяжёлые условия ручного труда сварщика. Третьим недостатком является малая стабильность качества наплавки, которая существенно зависит от технологических факторов и от квалификации самого сварщика. Также следует отметить, что частая смена электродов вызывает периодическое прерывание процесса наплавки и потери электродного металла на огарки.

Наплавка под флюсом (рис. 2.2) имеет большую производительность, чем наплавка в защитных газах. Также при наплавке под флюсом потери электродного металла из-за разбрызгивания сведены к минимуму. Так как сварочная дуга закрыта слоем флюса, улучшаются условия труда сварщика, не требуются дополнительных мер защиты от излучения дуги.

При наплавке под флюсом горение сварочной происходит между сварочным электродом и наплавляемым изделием. При этом на поверхности наплавляемого изделия образуется ванночка расплавленного металла. Сам участок горения дуги покрыт толстым слоем сыпучего флюса. Под действием дуги происходит частичное расплавление флюса, в нём образуется полость с эластичной оболочкой из шлака, в которой и горит сварочная дуга. Слой расплавленного шлака защищает жидкий и перегретый металл от контакта с воздухом, устраняет разбрызгивание электродного металла, сохраняет тепло сварочной дуги.



1 — твердый шлак; 2 — затвердевший наплавленный металл; 3 — жидкий шлак; 4 — жидкий металл; 5 — флюс; 6 — электрод (проволока); 7 — основной металл (деталь); 8 — подающие ролики; 9 — держатель; 10 — воронка для флюса; 11 — гибкий шланг; 12 — катушка с электродной проволокой; 13 — распределительная панель; 14 — трансформаторы

Рисунок 2.2 – Сварка и наплавка под слоем флюса: а) схема сварки под слоем флюса; б) схема сварочного полуавтомата

Наплавка **проволокой сплошного сечения в среде защитных газов** (рис. 2.3) достаточно широко распространена и в настоящее время продолжает совершенствоваться.

Дуговая наплавка в среде защитных газов может считаться самым технологичным и универсальным способом, позволяющим проведение наплавки во всех пространственных положениях. При этом достаточно широк диапазон применяемых наплавочных материалов от малоуглеродистых сталей до среднелегированных сталей и даже нержавеющей сталей [8].

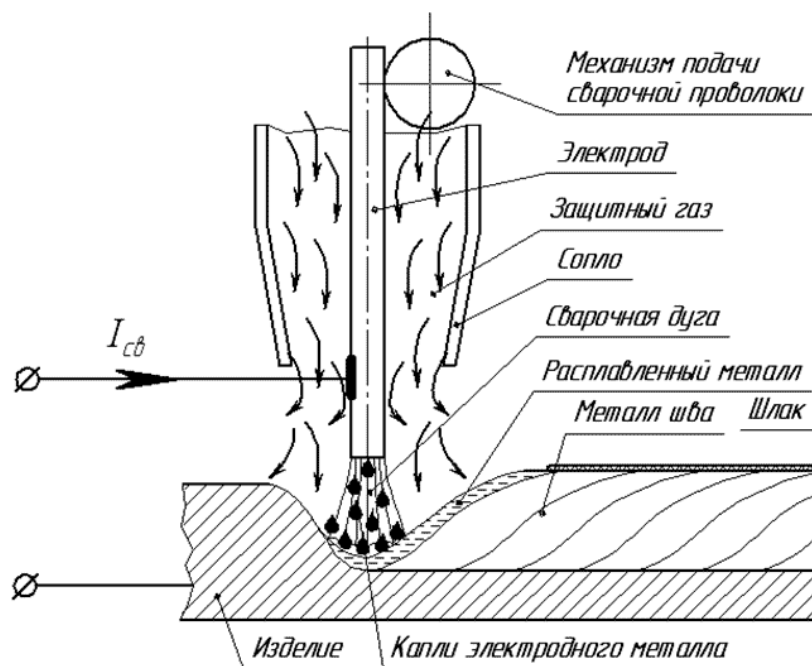


Рисунок 2.3 – Схема наплавки в защитном газе плавящимся электродом

Углекислый газ, являющийся защитной средой, считается легкодоступным и относительно недорогим.

Однако применение данного способа наплавки ограничивается малой эффективностью управления размерами наплавляемого валика – при наплавке в углекислом газе наблюдается повышенная глубина проплавления основного металла, низкая стабильность размеров наплавленного валика, большие потери электродного металла из-за разбрызгивания.

Совершенствованию наплавки в углекислом газе посвящено большое количество работ. Их анализ позволяет сделать вывод, что, улучшение условий формирования наплавленного металла может быть достигнуто при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну. Импульсное управление электрическими параметрами сварочной дуги и постоянное изменение скорости подачи электродной проволоки широко применяются в таких процессах, как ColdArc, SpeedPulse, STT, Fast Root [12...15]. В работах [16...18] описано комбинированное электромеханическое управление которое применено в процессах СМТ и PulseShock

В настоящее время нашли промышленное применение отечественные разработки области управления горением дуги за счёт изменения скорости подачи электродной проволоки [8, 19]. Эти разработки основаны на применении современных электроприводов, конструкция которых основана на вентильных электродвигателях.

Механизированная наплавка порошковой проволокой может считаться является одним из наиболее универсальных способов восстановления деталей машин [20]. Основными преимуществами порошковой проволоки, которые выгодно отличают её от других электродных материалов, являются хорошее формирование наплавленных валиков, высокая стабильность горения дуги, возможность адаптации химического состава к составу и свойствам восстанавливаемого изделия деталей и малое разбрызгивание электродного металла [21, 22, 23].



Рисунок 2.4 – Схема наплавки порошковой проволокой

Восстановление деталей с применением **плазменной наплавки** (рис. 2.5) позволяет получить существенное сокращение расходов на наплавочные материалы, повышение эксплуатационных свойств восстановленных деталей. Плазменная наплавка может считаться одним из самых высокоэффективных технологических процессов. Технико-экономические показатели (себестоимость, долговечность, производительность) плазменной наплавки существенно выше, чем показатели других способов восстановления деталей.

Плазменная наплавка с внесением порошка в плазменную струю позволяет достигнуть производительности наплавочных работ до 6 кг в час. Также следует учесть, что плазменная наплавка позволяет существенно уменьшить расход наплавочного порошка.

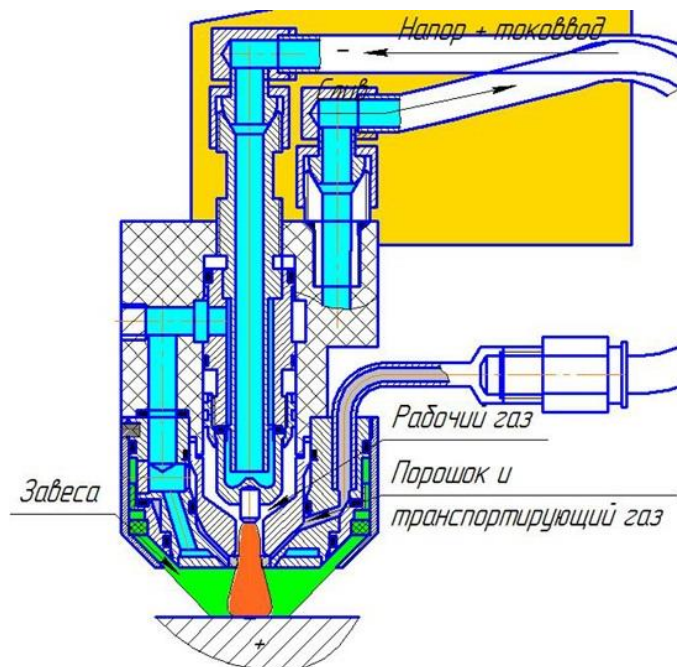


Рисунок 2.5 – Схема плазменной наплавки

2.2 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки

Восстановительная наплавка изделия может быть выполнена с применением таких распространённых в промышленности способов, как: ручная дуговая наплавка штучными электродами, наплавка под флюсом, наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, наплавка порошковой самозащитной проволокой, плазменная наплавка.

Согласно статистическим данным [10] в настоящее время наблюдается постоянное сокращение производства сварочных материалов в России. С 2001 года сокращение производства сварочных материалов оставило почти в 3 раза. Если до кризиса (по данным на 2007 год) общий объем производства сварочных материалов составлял 320 тыс. тонн, то в 2013 г. суммарный объём производства сварочных материалов приближался к 120 тыс. тонн, при

этом около 80 % из них – это покрытые электроды [11]. Изготовление такого перспективного сварочного материала, как порошковая проволока, в России поставлено крайне слабо. Выпуск порошковой проволоки составляет крайне незначительную часть от суммарного объёма выпускаемых сварочных материалов – порядка 3...4 %.

Главной причиной сокращения производства перспективных сварочных материалов – отсутствие качественного сырья и деградация производства [11]. В настоящее время промышленное производство порошковой проволоки надлежащего качества осуществляется на предприятии «ИнтерПро», расположенном в Орловской области.

Потеря производства отечественных сварочных материалов компенсируется в России интенсивным наращиванием их импорта. Так, согласно статистическим данным [10], с 2001 года к 2014 году наблюдается рост импорта сварочных материалов в 5,4 раза. Если в 2001 году он составлял всего 7,3 тыс. тонн, то в 2014 – уже 38,6 тыс. тонн. Основными партнёрами России, поставляющие сварочные материалы, являются компании Hyundai (Ю. Корея), Kobelco (Голландия), ESAB (Китай) и Lincoln Electric (Китай).

В настоящее время интенсивно муссируется программа импортозамещения, в рамках которой в России наметились тенденции к поиску возможностей восстановления собственного производства сварочных материалов. Современными экспертами не отрицается вероятность налаживания выпуска сварочных электродов и электродной проволоки сплошного сечения. Однако вопрос изготовления порошковой проволоки надлежащего качества остаётся открытым.

При восстановительной наплавке рассматриваемого изделия самым целесообразным следует признать применение наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Этот способ наплавки позволяет достигать высокого качества наплавочных работ в сочетании с высокой производительностью и малой себестоимостью процесса.

2.3 Приспособления для наплавки

Для выполнения восстановительной наплавки вала предложено приспособление (рис. 2.6), которое включает в себя следующие элементы: плиту 1, узел линейного перемещения 2, бегунок 3, сварочная головка 4, стойка 5, консоль 6, кассету 7, следящие электродвигатели 8.

Положение сварочной головки 4 устанавливается путём настройки стойки. При этом возможно позиционирование сварочной головки относительно наплавляемых граней вала и автоматическое перемещение сварочной головки по образующей вала при наплавке. Сварочную головку 4 закрепляют относительно стойки 5, модуль линейного перемещения 2 и бегунок 3 обеспечивают перемещение головки 4 относительно наплавляемого изделия. Консоль 6 служит для крепления кассеты проволоки 7. При помощи следящих электродвигателей 8 обеспечивается ориентация сварочной головки относительно изделия.

Поперечные колебания сварочной горелки обеспечиваются приводом линейных перемещений, который выполнен на основе шариковинтовой передачи (рис. 2.7).

Кантующее приспособление (рис. 2.8) позволяет выполнять фиксацию вала в зажимном патроне и вращать вал для смены наплавляемой грани. Приспособление состоит из: электродвигателя 1, клиноремённого вариатора 2, цилиндрической 3 и червячной 4 передачи, шпинделей 5, каретки в сборе 6, основания 7. Приспособление перемещает вал в процессе наплавки и позволяет равномерно регулировать скорость линейного перемещения горелки относительно наплавляемого изделия. Для управления скоростью перемещения горелки относительно изделия используется клиноремённый вариатор, который обеспечивает плавное изменение частоты вращения. На каретке приспособления закреплены два зажимных патрона, сама каретка поступательно перемещается относительно жёстко устанавливаемой станины.

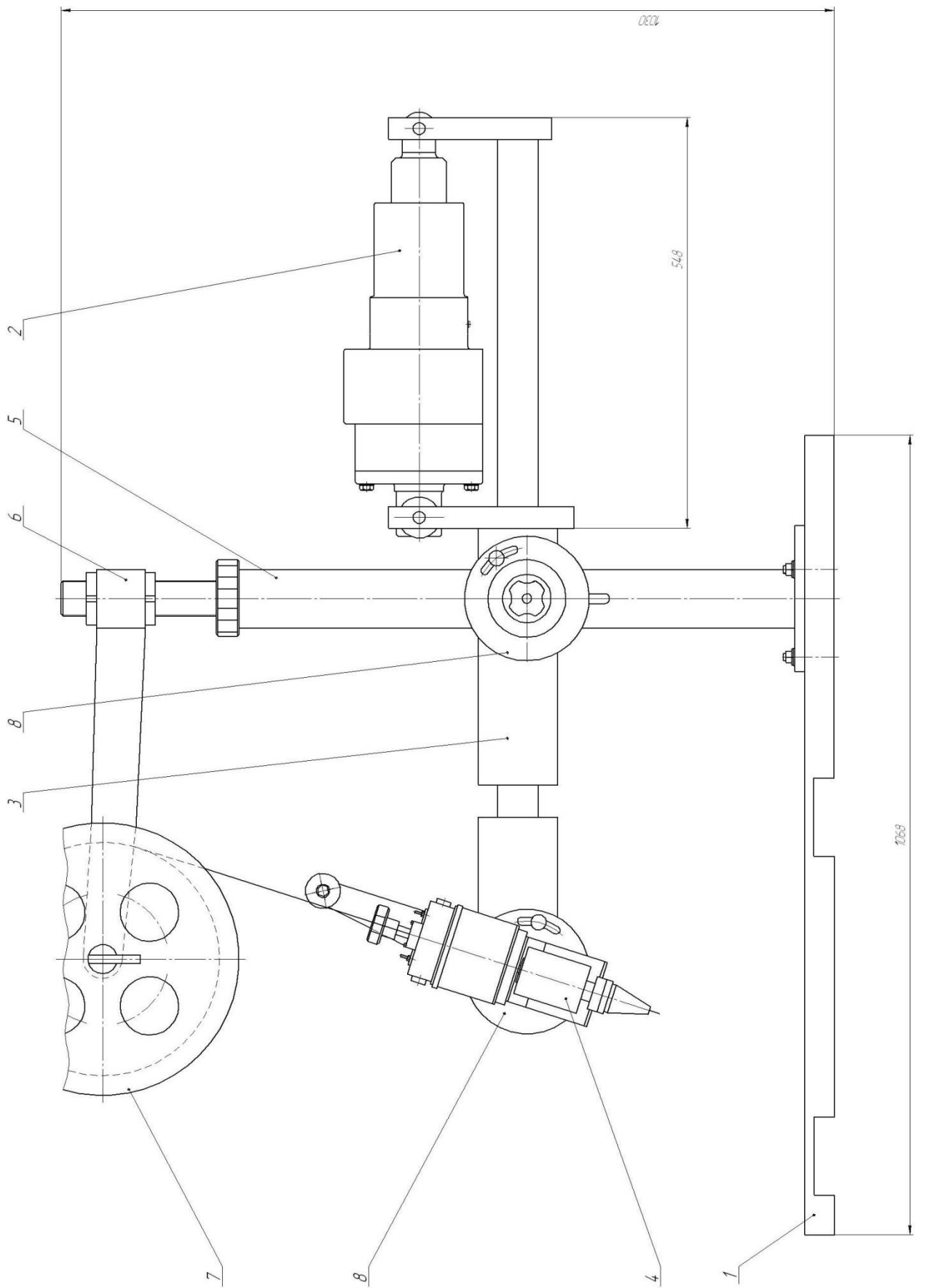


Рисунок 3.6 – Стойка для наплавки в сборе

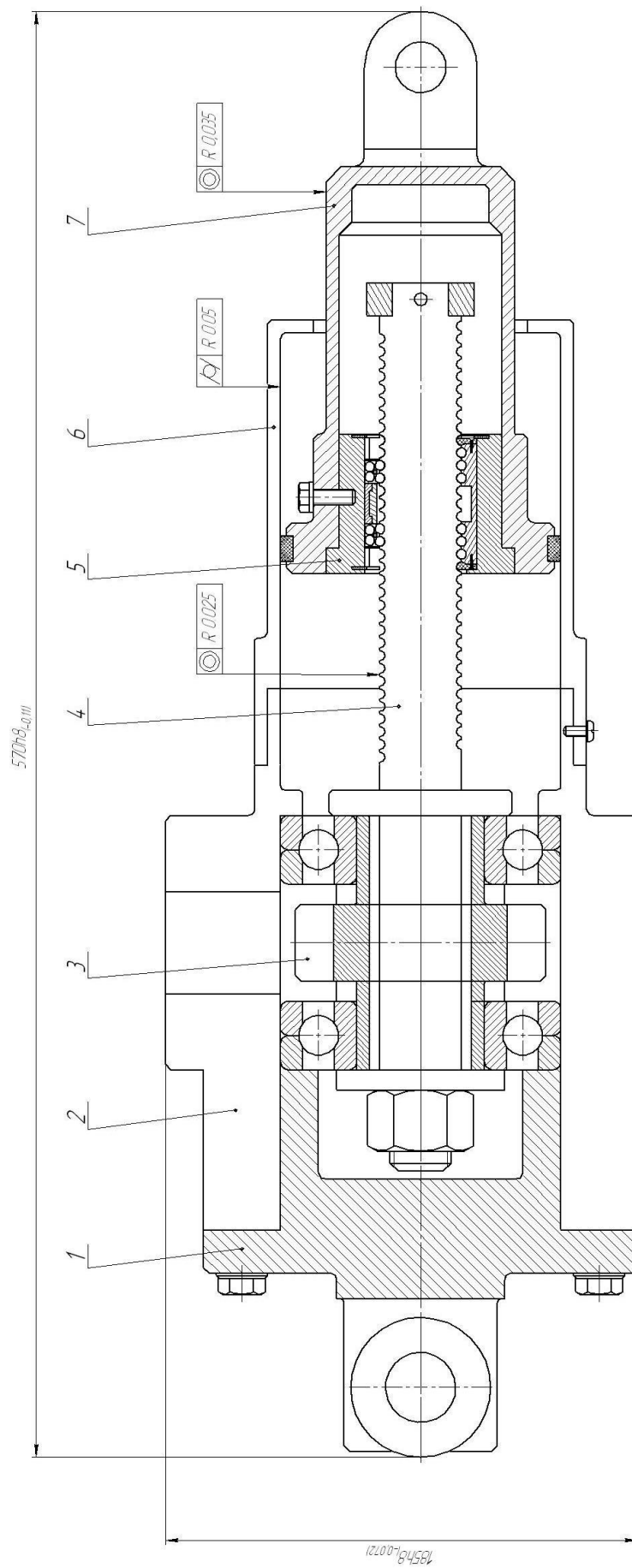


Рисунок 3.7 – Привод линейного перемещения сварочной головки

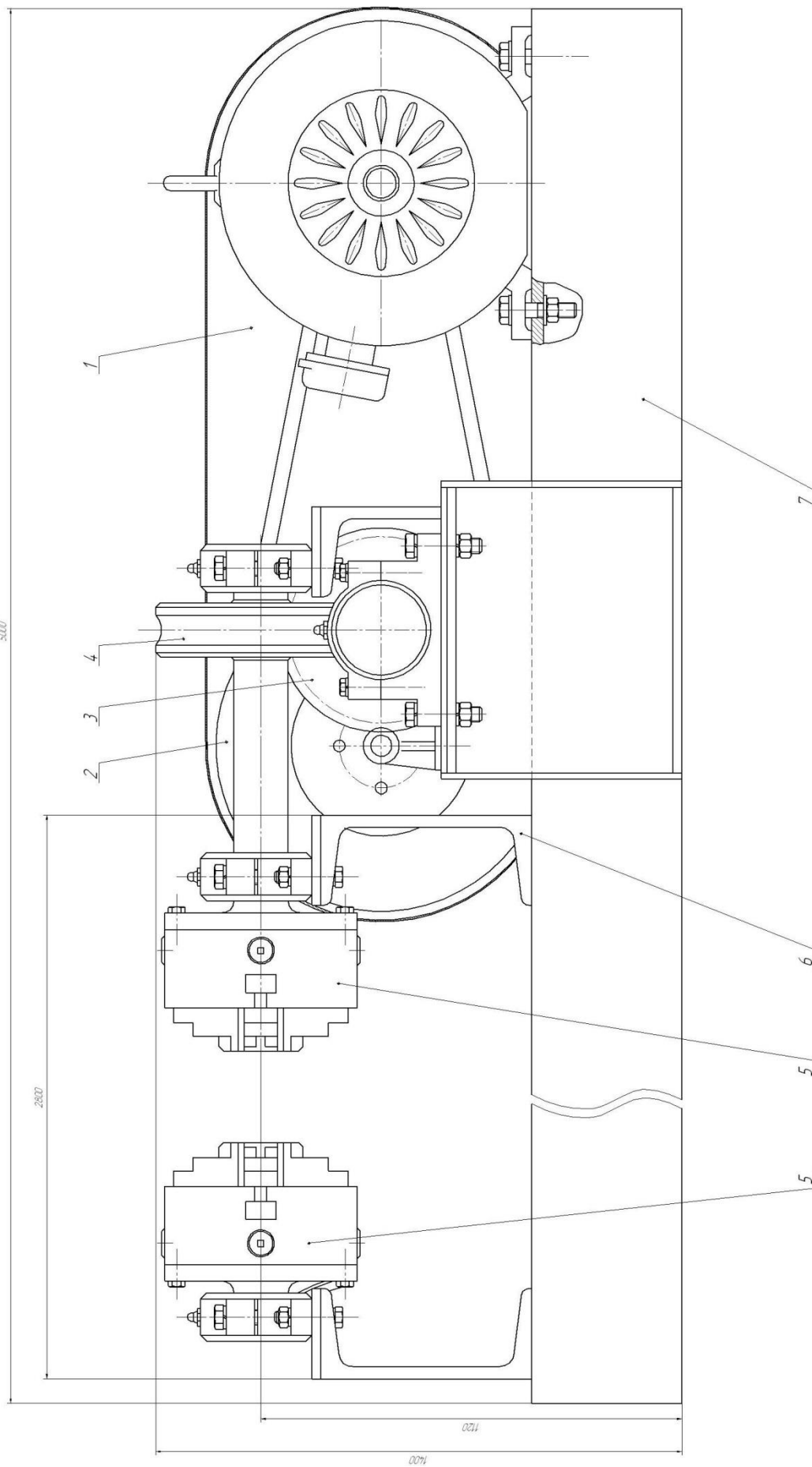
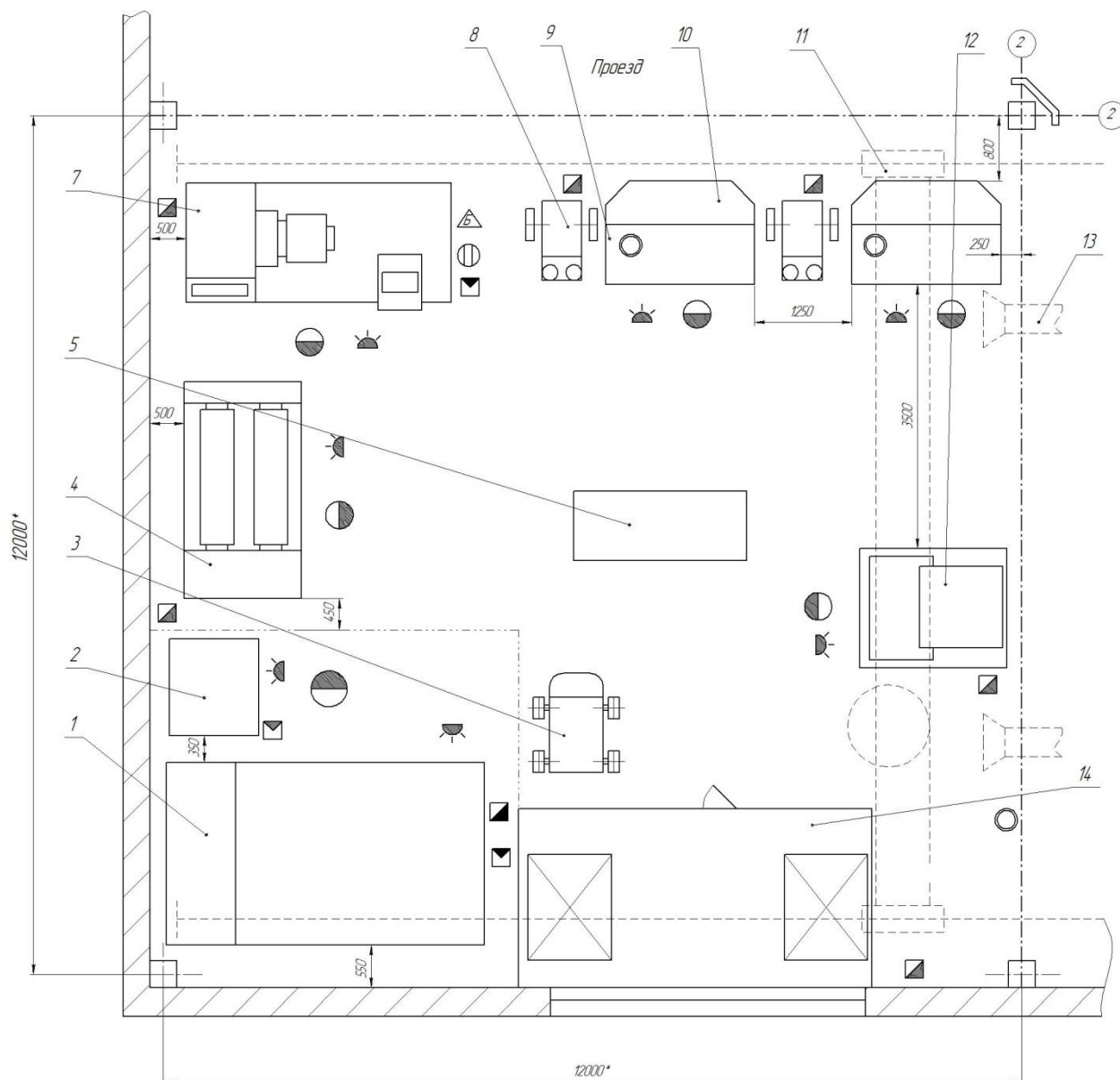


Рисунок 3.8 – Кантующее приспособление

2.4 Планировка участка

Общие размеры участка, на котором планируется внедрение технологии - длина 12000 мм, ширина 12000 мм. Участок расположен в осях колонн: 1-2, 1-2.



1 – пост дефектации; 2 – шкаф для оборудования; 3 – тележка инвентарная; 4 – пост зачистки; 5 – ящик с песком; 6 – склад для вспомогательных инструментов и расходных материалов; 7 – станок фрезерный СФ676; 8 – источник питания; 9 – стол для сварки; 10 – кабина для сварки; 11 – кран; 12 – пост окончательного контроля; 13 – приточная вентиляция

Рисунок 2.9 – Участок для наплавки

2.5 Повышение эффективности наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Совершенствованию наплавки в углекислом газе посвящено большое количество работ. Их анализ позволяет сделать вывод, что, улучшение условий формирования наплавленного металла может быть достигнуто при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну. Импульсное управление электрическими параметрами сварочной дуги и постоянное изменение скорости подачи электродной проволоки широко применяются в таких процессах, как ColdArc, SpeedPulse, STT, Fast Root [12...15]. В работах [16...18] описано комбинированное электромеханическое управление которое применено в процессах СМТ и PulseShock

В настоящее время нашли промышленное применение отечественные разработки области управления горением дуги за счёт изменения скорости подачи электродной проволоки [8, 19]. Эти разработки основаны на применении современных электроприводов, конструкция которых основана на вентильных электродвигателях.

В настоящее время для реализации процесса STT используется сварочный источник марки Invertec STT II (рис. 2.10). Его нельзя отнести ни к одной группе аппаратов для сварки с традиционными вольтамперными характеристиками. Правильнее считать его источником с высокоскоростным управлением величиной сварочного тока, оптимизированным специально для переноса сериями коротких замыканий. Как и традиционный сварочный полуавтомат, система на базе Invertec STT II состоит из собственно источника питания, блочно независимого механизма подачи сварочной проволоки с комплектом соответствующих контрольных и силовых кабелей и стандартной горелки для полуавтоматической сварки.



Рисунок 2.10 – Сварочный источник Invertec STT II

Значение $I_{св}$ силы сварочного тока должно быть назначено исходя из условия получения гарантированного провара основного металла на необходимую глубину, для этого воспользуемся формулой:

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_э^2}{4} \cdot a = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 130 = 65 \text{ А}, \quad (2.1)$$

где $d_э$ – диаметр электродной проволоки, мм, принимаем 0,8 мм;

a – плотность тока, при которой обеспечивается минимальное проплавление основного металла, принимается из диапазона 110...130 А/мм².

Назначение коэффициента расплавления электродной проволоки производим с использованием формулы:

$$a_p = 3,0 + 0,08 \frac{I_{св}}{d_э} = 3,0 + 0,08 \frac{65}{0,8} = 9,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}. \quad (2.2)$$

Назначение скорости подачи электродной проволоки выполним исходя из расчётов по формуле:

$$V_{п} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma} = \frac{4 \cdot 9,5 \cdot 65}{3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 7,8} = 157 \text{ м/ч} \quad (2.3)$$

где $I_{св}$ – принятое значение сварочного тока, А;

α_p – принятое значение коэффициента расплавления электродной проволоки;

γ – плотность наплавленного металла, принимаемая $\gamma=7,8$ г/см³;

$d_{эл}$ – диаметр электродной проволоки, мм, который ранее был принят как $d_{эл}=0,8$ мм.

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения восстановительной наплавки валов прокатного стана. В соответствии с базовой технологией восстановительная наплавка выполняется с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами. На основании проведенного анализа возможных способов ремонтной наплавки принято решение о замене ручной дуговой наплавки штучными электродами на наплавку в защитном газе проволокой сплошного сечения.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1	2	3	4
1. Подготовка дефектного участка	Слесарь-сборщик	Машина моечная, дробеструйная камера, щетка металлическая	Моющий раствор, вода техническая, ацетон, дробь стальная
2. Проведение предварительного подогрева	Электросварщик	Газовая горелка	Газ пропан
3. Наплавка на дефектное место	Электросварщик	Источник питания сварочной дуги, установка для наплавки	Наплавочная проволока, защитный газ

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
4. Термическая обработка	Слесарь-сборщик	Электропечь СНО	-
5. Механическая обработка	Слесарь-сборщик	Фрезерный станок	СОЖ
6. Контроль качества	Дефектоскопист	Лупа, дефектоскоп, штангенциркуль, твердомер	масло

3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющей о угрозу негативного фактора
1	2	3
1. Подготовка дефектного участка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Машина моечная, дробеструйная камера, щетка металлическая
2. Проведение предварительного подогрева	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов 	Электропечь СНО
3. Наплавка на дефектное место	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации 	Источник питания плазменной установки, плазменная установка

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
4. Термическая обработка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Электропечь СНО
5. Механическая обработка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Токарный станок
6. Контроль качества	- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Ультразвуковой дефектоскоп

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1	2	3
1. Наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
2. Перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Ограждения перемещающихся деталей и узлов и их предостерегающая окраска, предупреждающие плакаты.	-

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
3. Нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых труб до высоких температур	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
4. Опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
5. Ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
6. Инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварочных работ	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
7. Ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения	-

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Таблица 3.4 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется ремонтная наплавка	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, аппарат ультразвукового контроля	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 3.5 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Средства для тушения возгораний в начальной стадии	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем пожаротушения	Системы пожарной автоматика для проведения тушения возгорания	Пожарное оборудование на участке сварки	Средства индивидуальной защиты и спасения производственного персонала применяющихся при пожаре	Установленный на участке инструмент для ликвидации возгораний	Системы связи и оповещения на участке сварки
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	Специализированные автомобили (вызываются)	Нет	Нет	-	План эвакуации,	Ведро, лопата, багор, топор	Тревожная кнопка

Таблица 3.6 – Разработанные организационные мероприятия для исключения возгораний на участке сварки

Перечень операций, осуществляемых в рамках разработанного технологического процесса	Наименование мероприятий	Наименование противопожарного оборудования, которым должен быть укомплектован участок
Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция наплавки, контрольные операции.	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 3.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Ремонтная наплавка	Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция наплавки, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 3.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при горении дуги.
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

3.6 Заключение по разделу

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений

4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения восстановительной наплавки валов прокатного стана. В соответствии с базовой технологией восстановительная наплавка выполняется с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами и предусматривает выполнение следующих операций: 1) подготовка дефектного участка; 2) предварительный подогрев; 3) наплавка дефекта; 4) охлаждение; 5) контроль качества наплавочных работ.

На основании проведённого анализа возможных способов ремонтной наплавки принято решение о замене ручной дуговой наплавки штучными электродами на наплавку в защитном газе проволокой сплошного сечения. За счёт замены способа восстановительной наплавки и предполагается получить снижение трудоемкости восстановительной наплавки и повышение качества выполнения работ.

Таблица 4.1 – Исходные данные для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя в рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	1	1
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	P_p		IV	IV
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	200	200

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	Квн	-	1,1	1,1
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	На	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	На.пл.	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м ²	11	11
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	Цпл	Р/м ²	30000	30000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт -з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	200000	600000

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	15	20
Принятое значение стоимость электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,85
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Объём фонда времени, в течение которого происходит работа сварочного оборудования, задействованного в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, может быть определён с использованием формулы:

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см}, \quad (4.1)$$

где $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены в часах;

D_p – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{п}$ – планируемое количество предпраздничных дней в календарном году;

$T_{п}$ – планируемое сокращение длительности рабочей смены в часах в предпраздничный день;

$K_{см}$ – количество рабочих смен.

После подстановки в формулу (4.1) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_{н} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Расчёт эффективного фонда времени работы сварочного оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам может быть определён с использованием формулы:

$$F_{э} = F_{н} \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где B – процент планируемых потерь рабочего времени.

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_{э} = 2209 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2054 \text{ ч.}$$

4.3 Расчет штучного времени

Оценку штучного времени для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним с использованием формулы:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (4.3)$$

где $t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{маш}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{всп}$ – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{всп} = 10\%$ от $t_{маш}$;

$t_{обсл}$ – время обслуживания – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на обслуживание, текущий и мелкий ремонт технологического оборудования задействованного в выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{обсл} = 5\%$ от $t_{маш}$;

$t_{отл}$ – время личного отдыха – объём времени в часах, которое будет затрачено на работником на обеспечение личных потребностей в отдыхе при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{отл} = 5\%$ от $t_{маш}$;

$t_{п-з}$ – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{п-з} = 1\%$ от $t_{маш}$.

После подстановки в формулу (4.3) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$t_{шт.баз} = 1,65 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,83 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы проведения сварочных работ согласно рассматриваемого технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним по формуле:

$$П_{\Gamma} = \frac{F_{\text{Э}}}{t_{\text{шт}}}, \quad (4.4)$$

где $F_{\text{Э}}$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время в часах, которое затрачивает работник на один стык трубопровода по базовому и проектному вариантам технологии;

После подстановки в формулу (4.4) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$П_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/2 = 1027 \text{ ремонтных наплавов за год};$$

$$П_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/1 = 2054 \text{ ремонтных наплавов за год}.$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы $П_{\Gamma}=800$ ремонтных наплавов в год.

Требуемое в этом случае количество наплавочного оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot П_{\Gamma}}{F_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}}}, \quad (4.5)$$

где $П_{\Gamma}$ – годовая программа – принятое ранее количество стыков трубопровода, которые необходимо сварить за один календарный год при

выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Fэ$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$K_{вн}$ – принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{2 \cdot 800}{2054 \cdot 1,03} = 0,76$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{1 \cdot 800}{2054 \cdot 1,03} = 0,38$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

$$K_3 = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где $n_{\text{расч}}$ – полученное согласно (4.5) количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$n_{\text{пр}}$ – принятое количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$K_{3б} = 0,76/1 = 0,76,$$

$$K_{3п} = 0,38/1 = 0,38.$$

4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии сварки

При ремонтной наплавке используются сварочные материалы. Базовая технология наплавки предусматривает применение ручной дуговой наплавки, для которой расходным материалом являются штучные электроды. Проектная технология восстановительной наплавки предусматривает применение наплавки в защитном газе, для которой расходными материалами будут защитный газ и наплавочная проволока. Затраты на наплавочные материалы, которые будут использованы при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$M = C_m \cdot N_p \cdot K_{Т-З}, \quad (4.7)$$

где C_m – цена, определённая для сварочного материала по каталогам предприятий, которые представлены в сети ИНТЕРНЕТ;

$K_{Т-з}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы.

При расчёте затрат на материалы следует учесть что базовый вариант технологии ремонтной наплавки с применением ручной дуговой наплавки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью их исправления. В проектной технологии предложено использовать наплавку в защитном газе. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать изделия без дефектов. Таким образом, массу наплавленного металла при восстановительной наплавке по базовой технологии следует взять больше, чем массу наплавленного металла при сварке по проектной технологии. После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_{\text{баз.}} = 270 \cdot 0,48 = 130 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 310 \cdot 0,448 + 90 \cdot 0,213 = 158 \text{ руб.}$$

Объём фонда заработной платы (ФЗП) определяется суммой основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$.

Объём $Z_{\text{осн}}$ основной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где $C_{\text{ч}}$ – утверждённая часовая тарифная ставка работника;

$K_{\text{д}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате.

После подстановки в формулу (4.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$З_{\text{осн.баз.}} = 2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 752 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн.проектн.}} = 1 \cdot 200 \cdot 1,88 = 376 \text{ руб.}$$

Объём $З_{\text{доп}}$ дополнительной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$З_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где $K_{\text{доп}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы

После подстановки в формулу (4.9) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$З_{\text{доп.базов.}} = 752 \cdot 12/100 = 90 \text{ рублей;}$$

$$З_{\text{доп.проектн.}} = 376 \cdot 12/100 = 45 \text{ рублей;}$$

$$\PhiЗП_{\text{базов.}} = 752 + 90 = 842 \text{ рублей;}$$

$$\PhiЗП_{\text{проектн.}} = 376 + 45 = 421 \text{ рублей.}$$

Объём $O_{\text{сн}}$ отчислений на социальные нужды определим расчётным путём с использованием формулы:

$$O_{\text{сн}} = \PhiЗП \cdot K_{\text{сн}}/100, \quad (4.10)$$

где $K_{\text{сн}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды.

После подстановки в формулу (4.10) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$O_{\text{сн.баз.}} = 842 \cdot 34/100 = 286 \text{ руб.,}$$

$$\text{Осс}_{\text{проектн.}} = 421 \cdot 34 / 100 = 143 \text{ руб.}$$

Объём $Z_{об}$ финансовых затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э}, \quad (4.11)$$

где $A_{об}$ – финансовые потери от амортизации технологического оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$P_{э-э}$ – финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

Финансовые потери на амортизацию оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot N_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100} \quad (2.12)$$

где $Ц_{об}$ – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, определённая по каталогам предприятий в сети ИНТЕРНЕТ;

N_a – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

$t_{МАШ}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_э$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.12) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{об.б} = \frac{200000 \cdot 21,5 \cdot 2}{2054 \cdot 100} = 42 \text{ рублей}$$

$$A_{об.нр} = \frac{600000 \cdot 21,5 \cdot 1}{2054 \cdot 100} = 63 \text{ рублей}$$

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам определим расчётным путём с использованием формулы:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{э-э}}{КПД} \quad (4.13)$$

где $M_{уст}$ – установленная мощность оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Ц_{э-э}$ – принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

КПД – принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса

После подстановки в формулу (4.13) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{э-э.б} = \frac{15 \cdot 2 \cdot 3,02}{0,7} = 129 \text{ рублей}$$

$$P_{э-э.нр} = \frac{20 \cdot 1 \cdot 3,02}{0,85} = 71 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{баз.}} = 42 + 129 = 171 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{проектн.}} = 63 + 71 = 134 \text{ рублей}$$

Значение $C_{\text{тех}}$ показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} \quad (4.14)$$

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, значения которых были округлены до целых, имеем:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 130 + 842 + 286 + 171 = 1429 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 158 + 421 + 143 + 134 = 856 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{цех}}$ показателя цеховой себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} \quad (4.15)$$

где $K_{\text{цех}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.15) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 1429 + 1,5 \cdot 752 = 1429 + 1128 = 2557 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 856 + 1,5 \cdot 376 = 856 + 564 = 1420 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{зав}}$ показателя заводской себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.16)$$

где $K_{\text{ЗАВ}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.16) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 2557 + 1,15 \cdot 752 = 2557 + 865 = 3422 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 1420 + 1,15 \cdot 376 = 1420 + 432 = 1852 \text{ руб.}$$

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу (табл. 4.2)

Таблица 4.2 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	130	158
2. Объем фонда заработной платы	ФЗП	842	421
3. Отчисления на соц. нужды	ОСН	286	143
4. Объем финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	171	134
5. Величина технологической себестоимости	Стех	1429	856
6. Объем цеховых расходов	Рцех	1128	564
7. Величина цеховой себестоимости	Сцех	2557	1420
8. Объем заводских расходов	Рзав	865	432
9. Величина заводской себестоимости	$C_{\text{ЗАВ}}$	3422	1852

4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам

Значение $K_{\text{общ}}$ капитальных затрат, которые потребуются для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot \text{Ц}_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{3.Б.}, \quad (4.17)$$

где K_3 – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б}}$ –остаточная стоимость в рублях технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство, который определяется по сроку службы этого оборудования;

n – ранее полученное количество единиц технологического оборудования, для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам.

Величину $\text{Ц}_{\text{ОБ.Б}}$ остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б}} = \text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} - (\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.18)$$

где $\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}}$ – рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

$T_{\text{СЛ}}$ – количество лет, в течение которых рассматриваемое оборудование было использовано в технологическом процессе по базовому варианту;

N_A – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

После подстановки в формулу (4.17) и (4.18) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Баз.}} = 200000 - (200000 \cdot 3 \cdot 21,5/100) = 71000 \text{ рублей}$$

$$\text{К}_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 71000 \cdot 0,76 = 53960 \text{ рублей}$$

Величину $\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}}$ общих капитальных затрат для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}} = \text{К}_{\text{ОБ.ПР}} + \text{К}_{\text{ПЛ.ПР}} + \text{К}_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.19)$$

где $\text{К}_{\text{ОБ.ПР}}$ – расчётный объём капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$\text{К}_{\text{ПЛ.ПР}}$ – расчётный объём капитальных вложений в производственные площади, задействованные для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$\text{К}_{\text{СОП.ПР}}$ – расчётный объём сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии.

Объём $\text{К}_{\text{ОБ.ПР}}$ капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{К}_{\text{ОБ.ПР}} = \text{Ц}_{\text{ОБ.ПР}} \cdot \text{К}_{\text{Т-З}} \cdot \text{К}_{\text{ЗБ}}. \quad (4.20)$$

После подстановки в формулу (2.20) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{К}_{\text{ОБ.ПР}} = 600000 \cdot 1,05 \cdot 0,38 = 239400 \text{ руб.}$$

Объём $K_{\text{СОП}}$ сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{СОП}} = K_{\text{ДЕМ}} + K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.21)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{\text{МОНТ}}$ – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

Затраты $K_{\text{ДЕМ}}$ на демонтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДЕМ}} = Ц_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.22)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его демонтаж.

После подстановки в формулу (4.22) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 200000 \cdot 0,05 = 10000 \text{ руб.}$$

Затраты $K_{\text{МОН}}$ на монтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по проектному варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{МОНТ}} = Ц_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.23)$$

где $K_{\text{МОНТ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж.

После подстановки в формулу (4.23) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{МОНТ}} = 600000 \cdot 0,05 = 30000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.21) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{СОП}} = 10000 + 30000 = 40000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.19) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 239400 + 40000 = 279400 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{ДОП}}$ дополнительных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩ.ПР}} - K_{\text{ОБЩ.Б.}} \quad (4.24)$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДОП}} = 279400 - 53960 = 225440 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{УД}}$ удельных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{УД}} = \frac{K_{\text{ОБЩ.}}}{\Pi_{\Gamma}}, \quad (4.25)$$

где Π_{Γ} – принятое значение годовой программы.

После подстановки в формулу (4.25) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{удБаз.}} = 53960/800 = 67 \text{ руб./ед.}$$
$$K_{\text{удПроектн.}} = 279400/800 = 349 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений

Снижение Δt трудоемкости при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad . \quad (4.26)$$

После подстановки в формулу (4.26) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{2-1}{2} \cdot 100\% = 50\% \quad .$$

Повышение Π_T производительности труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad . \quad (4.27)$$

После подстановки в формулу (4.27) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$П_T = \frac{100 \cdot 50}{100 - 50} = 100\%$$

Снижение ΔC_{TEH} технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{TEH} = \frac{C_{TEHБ} - C_{TEHПР}}{C_{TEHБ}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

После подстановки в формулу (4.28) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta C_{TEH} = \frac{1429 - 856}{1429} \cdot 100\% = 40\%$$

Условно-годовую экономию $Пр_{ож}$ (ожидаемую прибыль) при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Пр_{ож.} = Э_{у.г.} = \left(C_{зав}^Б - C_{зав}^{ПР} \right) \cdot П_T \quad (4.29)$$

После подстановки в формулу (4.29) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$Э_{у.г.} = (3422 - 1852) \cdot 800 = 1256000 \text{ руб.}$$

Срок $T_{ок}$ окупаемости дополнительных капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{\Delta_{уг}} \quad . \quad (4.30)$$

После подстановки в формулу (4.30) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{ок} = \frac{225440}{1256000} = 0,18$$

Годовой экономический эффект $\Delta_{г}$ в сфере при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta_{г} = \Delta_{уг} - E_n \cdot K_{доп} \quad (4.31)$$

После подстановки в формулу (4.31) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta_{г} = 1256000 - 0,33 \cdot 225440 = 1181600 \text{ руб.}$$

Заключение по экономическому разделу

Базовый вариант технологии ремонтной наплавки валов с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью исправления дефектов. В проектном варианте технологии предложено использовать наплавку в защитных газах проволокой сплошного сечения. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать наплавленную поверхность без дефектов.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоемкость на 50 %, увеличивается производительность труда на 100 %, уменьшается технологическая себестоимость на 40 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 1,3 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,2 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 0,16 года.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности предложенных решений, которые должны быть внедрены в производство.

Заключение

В работе поставлена цель – повышение производительности и эксплуатационных свойств при восстановлении шестигранных валов из стали 45Х.

Базовый вариант технологии ремонтной наплавки валов с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью исправления дефектов. Обзор возможных способов восстановительной наплавки выполнен с анализом таких способов, как ручная дуговая наплавка штучными электродами, наплавка под флюсом, наплавка в среде защитных газов, наплавка порошковой проволокой, плазменная наплавка.

На основании выполненного анализа обоснована эффективность применения ремонтной наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

В ходе выполнения анализа состояния вопроса выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу: 1) выполнить обзор альтернативных способов восстановительной наплавки и обосновать выбор оптимального способа восстановления изношенных валов прокатного стана; 2) повысить эффективность восстановительной наплавки применительно к рассматриваемому изделию; 3) составить технологию восстановительной наплавки и подобрать оборудование для её реализации.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,2 млн. рублей.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Полученные результаты рекомендуются к использованию в производстве при выполнении восстановительной наплавки валов.

Список используемой литературы

1. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: учебное пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014
2. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет.: К.В. Фролов (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение. – Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т. III-7 / В.В. Ключев [и др.]; под общ. Ред. В.В. Ключева – 1996, 464 с.
3. Шиповалов, А.Н. Технология восстановления кулачков распределительных валов плазменной наплавкой: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва: Российский государственный аграрный заочный университет. – 2010.
4. Рябцев, И.А. Наплавка деталей машин и механизмов. – Киев: Екотехнологія, 2004. – 160 с.
5. Машиностроение. Технология сварки, пайки и резки. Т. 3 / Под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 2006. – 768 с.
6. Власов, В.М. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла / В.М. Власов, Л.М. Нечаев, Н.Б. Фомичева, Е.В. Фомичева // Современ. наукоемкие технологии. – 2004. – № 1. – С. 9–11.
7. Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин: Справочник / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
8. Потапьевский, А.Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.
9. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

10. Мазур, А.А. Порошковые проволоки на мировом и региональном рынках сварочных материалов / А.А. Мазур, О.К. Маковецкая, С.В. Пустовойт, Н.С. Бровченко // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5–6. – С. 68–74.

11. Сидлин, З.А. Состояние производства сварочных материалов в России // Автоматическая сварка. – 2009. – № 2. – С. 31–34.

12. Goecke S. F. Low Energy Arc Joining Process for Materials Sensitive to Heat, EWM HIGHTEC WELDING GmbH 2005.

13. Jaeschke B. Speedpulse eine produktivitäts- und effizienzsteigernde Weiterentwicklung des MSG Impulsschweißens / Jaeschke B., Vollrath K. // Schweißen und Schneiden. – 2009. – 61. – № 9. – S. 548–553.

14. DeRuntz, B. D. Surface Tension Transfer welding in manufacturing. Selected Paper presented at the National Association of Industrial Technology Conference, Detroit Michigan, 2001. – P. 20–26.

15. Jyri Uusitalo. Kemppi Pro News 2/2006. FastROOT Process. – P. 4–8.

16. A. Schierl: «The CMT-Process – A Revolution in welding technology». – Weld. World, 2005, 49, 38. G. Huismann: Direct control of the material transfer, the Controlled Short Circuiting (CSC)-MIG process, ICAWT 2000: Gas Metal Arc Welding for the 21st Century, Dec. 6-8, 2000, Orlando, Florida.

17. Федько, В.Т. Импульсная подача сварочной проволоки с управляемым переносом электродного металла / В.Т. Федько, А.В. Крюков, С.А. Солодский // Наука – Образование – производство: материалы научно-технической конференции. – Нижний Тагил, 2004. – Т.2. – С. 100–103.

18. Lebedev V.A. Application of mechanical oscillations with controllable parameters for improvement of arc mechanized and automatic arc welding and surfacing using consumable electrode / V.A. Lebedev, S.Yu. Maksimov // Doc.XII-2082-12, Draft Agenda Commission XII «Arc Welding Processes and Production Systems» July 9-11, 2012, Denver, USA.

19. Лебедев, В.А. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной

проволоки / В.А. Лебедев, И.В. Лендел, А.В. Яровицын [и др.] // Автоматическая сварка. – 2006. – № 3. – С. 25–30.

20. Походня, И.К. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой / И.К. Походня, В.Н. Шлепаков, С.Ю. Максимов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 34–42.

21. Шлепаков, В.Н. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей / В.Н. Шлепаков, Ю.А. Гаврилюк, А.С. Котельчук // Автоматическая сварка. – 2010. – № 3. – С. 46–51.

22. Розерт, Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях / Р. Розерт // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 60–64.

23. Кондратьев, И.А. Порошковые проволоки для наплавки стальных валков горячей прокатки / И.А. Кондратьев, И.А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – с. 99–100.