

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»
(ПГСХА)

Ю.А. Захаров, И.А. Спицын, Е.Г. Рылякин

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ
КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
ГАЛЬВАНМЕХАНИЧЕСКИМ ЦИНКОВАНИЕМ**

Пенза 2015

УДК 62-214.2+621.357.77+621.357.54+621.79.025.3

ББК 39.33-08

3-22

Рецензенты: доктор технических наук, профессор кафедры «Геотехника и дорожное строительство» А.П. Бажанов (ПГУАС); кандидат технических наук, заместитель директора ООО «Пензенская аграрная компания» А.В. Новичков (ПАК)

Захаров Ю.А.

3-22

Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей мобильной техники гальваномеханическим цинкованием: моногр. / Ю.А. Захаров, И.А. Спицын, Е.Г. Рылякин. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 136 с.

ISBN 978-5-9282-1231-5

Рассмотрены основные способы восстановления поверхностей посадочных отверстий корпусных деталей мобильных машин, проведен анализ зависимости прочности сцепления гальванических осадков с подложкой от подготовки поверхности к осаждению и поведения металлов при анодном электрохимическом растворении в растворах, содержащих сульфат-ионы. Теоретически обоснована возможность анодного травления металлов непосредственно в рабочем электролите. Приведены программа и методики экспериментальных исследований, проведен анализ полученных экспериментальных данных. Даны практические рекомендации по организации ремонтного производства и представлена оценка их технико-экономической эффективности.

Монография подготовлена на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» и предназначена для специалистов автотранспортного комплекса, преподавателей, студентов и аспирантов, специализирующихся в области обслуживания и ремонта мобильной техники.

ISBN 978-5-9282-1231-5

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015

© Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2015

© Захаров Ю.А., Спицын И.А.,
Рылякин Е.Г., 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время хозяйства обеспечены необходимой техникой на 40-70 %, машинно-тракторный парк продолжает стареть, срок эксплуатации машин и оборудования возрастает. Вместе с сокращением численности машинно-тракторного парка происходит снижение его технической готовности из-за невозможности своевременного и качественного ремонта техники, а также сокращения количества ремонтов, проводимых на специализированных предприятиях.

Ремонтные предприятия сократили объём работ в 4-6 раз. Мощности основных предприятий технического сервиса используются на 10-15 %. Это происходит не только за счет ухудшения качества работы этих предприятий, но и из-за того, что в плане экономии многие хозяйства стремятся проводить основную часть ремонтов своими силами, даже в ущерб качеству.

Ремонтные предприятия практически полностью отказались от восстановительных технологий сводя весь ремонт к замене узлов и агрегатов на новые или бывшие в употреблении, но сохранившие еще остаточный ресурс. Современное ремонтное производство избегает применения восстановления деталей не только из-за необходимости организации дополнительных участков и линий, но и из-за несовершенства существующих технологий восстановления изношенных поверхностей.

Работа посвящена совершенствованию технологического процесса восстановления посадочных отверстий чугунных корпусных деталей электролитическим цинкованием в проточном электролите.

Целью монографии является систематизация, анализ, формулирование выводов и рекомендаций по рассматриваемому вопросу. Проведенный анализ основных дефектов корпусных деталей мобильных машин и систематизация информации по методикам их устранения позволяет выделить наиболее рациональные среди существующих в настоящее время.

Теоретические изыскания позволили сформулировать предпосылки совершенствования технологического процесса нанесения цинкового гальванопокрытия на поверхность из серого чугуна СЧ 18, что было подтверждено результатами экспериментальных исследований и производственных испытаний.

Авторы надеются, что проделанная работа будет полезна не только в проведении научных изысканий, но и для применения на практике в ремонтных предприятиях нашей страны и за рубежом.

Пожелания, отзывы и предложения просьба направлять по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта», E-mail: avto@pguas.ru

ВВЕДЕНИЕ

По данным авторов [1], затраты на запасные части составляют 50-70 % от себестоимости ремонта машин. Себестоимость восстановления деталей не превышает 60 % от цены новых. То есть основными путями снижения себестоимости ремонта машин и расхода запасных частей могут являться восстановление и повторное использование изношенных деталей. По сравнению с изготовлением новых деталей число операций обработки при восстановлении сокращается в 3-8 раз. На создание соответствующего производства требуется в 2-2,5 раза меньше капитальных вложений, чем на создание производств по изготовлению запасных частей. На восстановление деталей требуется в 20-30 раз меньше металла, чем на изготовление новых, а в стоимости новых деталей 75...80 % составляют затраты на металл [1-3]. Большинство изношенных деталей теряет не более 1 % исходной массы, а износ рабочих поверхностей не превышает 0,3 мм. При этом прочность деталей практически не снижается, а значительный объем поверхности не изнашивается вообще. И если при этом учесть, что при переплавке металлолома теряется до 30 % металла, то восстановление является еще ко всему и важнейшим источником экономии материально-сырьевых и энергетических ресурсов.

В связи с этим, ставятся задачи, направленные на повышение качества ремонта и обслуживания техники за счет совершенствования технологий восстановления деталей машин. Особое место при этом занимают вопросы совершенствования технологических процессов ремонта дорогих и

дефицитных корпусных деталей машин, существенное количество которых выбраковывается вследствие износа поверхностей посадочных отверстий.

Одним из наиболее перспективных способов восстановления этих отверстий является электролитическое цинкование в проточном электролите. Однако широкое применение данного способа в ремонтном производстве ограничивается большим количеством операций в структуре технологического процесса цинкования. При этом каждая из операций влияет на надежность технологического процесса, то есть на прочность сцепления покрытия с основой и его качество. Кроме того, при нанесении гальванопокрытий расходуется большое количество питьевой воды в размере 30–50 % от количества свежей воды, расходуемой на нужды всего предприятия в целом [4, 5].

Проблема снижения потребления питьевой воды при осуществлении технологических процессов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей электролитическими способами является особенно острой.

Не менее важное место занимает вопрос повышения скорости осаждения без снижения качества покрытия.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Способы восстановления поверхностей посадочных отверстий корпусных деталей машин

В современных условиях развития сельскохозяйственного производства эффективность ремонта техники тесно связана с разработкой, внедрением новых и совершенствованием существующих способов восстановления деталей машин, позволяющих повысить производительность технологических процессов восстановления.

При эксплуатации, из-за сбоев в работе агрегатов трансмиссии, происходит от 20 до 40 % всех отказов. Ресурс отремонтированных узлов и агрегатов в значительной мере зависит от уровня технологии и качества восстановления корпусных деталей. Например, ресурс коробок передач составляет 30–40 % от ресурса новых. Больше всего изнашиваются корпусные детали (КД) и зубчатые колеса. Во время эксплуатации рабочие поверхности деталей изнашиваются от воздействия ударных и знакопеременных нагрузок, сил трения, разрушающего воздействия окружающей среды, фреттинг-коррозии, а также подвергаются короблению от внутренних напряжений [4, 6, 7, 8-11]. По данным авторов [1], на долю корпусных деталей приходится около 16% отказов. Наибольшая повторяемость дефектов характерна для посадочных отверстий (ПО) под подшипники и стаканы [12-16]. Так, по данным ГОСНИТИ, коэффициенты повторяемости дефектов в виде износа поверхности отверстий под подшипники и стаканы для основных типов тракторов, автомобилей и комбайнов достигают 0,1–0,85 [8]. Коэффициенты восстановления корпусов при капитальном ремонте машин составляют 0,4–0,8 [16].

Устранение этих дефектов представляет основную сложность технологического процесса восстановления корпусных деталей. В результате износов, старения и деформации корпусов нарушаются не только размеры отверстий, но и их взаимное расположение, параллельность и перпендикулярность осей отверстий между собой и относительно установочных баз [17, 18]. Так, ресурс коробок передач (КП), собранных из новых деталей и восстановленных корпусов с нарушениями пространственной геометрии, составляет менее половины ресурса новых [8, 12]. Поэтому в процессе восстановления наряду с доведением размеров отверстий до номинальных значений необходимо восстанавливать их пространственное расположение, выдерживая точные размеры.

Величина износа, по данным Батищева А.Н., Голубева И.Г., Лялякина В.П. и других [12, 19, 20], для тракторов Т–150, МТЗ–50, МТЗ–80, ДТ–75 составляет 0,065 – 0,33 мм. Для трактора Т–74, по данным Дунаева А.В. [16], максимальный износ ПО КД равен 0,15–0,22 мм. Износ ПО

автомобильных КП меньше, чем тракторных [21-24]. У автомобилей ЗИЛ–130 он соответственно составляет 0,026–0,048; 0,15–0,25; 0,10–0,16 мм.

Новые корпусные детали характеризуются относительно невысокой работоспособностью. Это во многом зависит от технологии их изготовления. Корпусные детали трансмиссий изготавливают преимущественно из серого чугуна. После получения отливок «старение» деталей не производят, поэтому в них присутствуют большие внутренние напряжения [1]. При последующей механической обработке происходит перераспределение напряжений, но, тем не менее, величина остаточных напряжений может быть существенной. При эксплуатации остаточные напряжения снижаются, что приводит к изменению пространственной геометрии корпусной детали и несоответствию её техническим требованиям.

По данным авторов [25-28], в соответствии с техническими требованиями, отклонения не должны превышать: межосевых расстояний 0,07–0,105 мм, от соосности отверстий 0,03–0,05 мм, параллельности осей 0,05–0,17 мм на длине до 350 мм, от перпендикулярности отверстий к базовым плоскостям 0,05 – 0,08 мм на длине 100 мм.

Авторы [24, 28, 29] пришли к выводу, что свыше 70 % корпусов КП автомобиля ЗИЛ–130 имеют перекося и непараллельность осей отверстий, выходящие за допустимые пределы. Цыплаковым В.Г. [30] и Бабусенко С.М. [31] установлено, что по причине несоосности требуют восстановления 86 % корпусов трансмиссий, 34 % корпусов КП трактора МТЗ–50 и 88 % корпусов КП комбайна СК–5, в то время как по предельным износам посадочных отверстий соответственно 22 и 60 %.

Приведенные выше данные показывают необходимость восстановления посадочных отверстий и их расположения в корпусах, поскольку износ, координатная и взаимная расположения отверстий корпусных деталей оказывают большое влияние на долговечность отремонтированного агрегата. Так, по данным ГОСНИТИ послеремонтный ресурс агрегатов трансмиссии, имевших все новые детали, за исключением корпусных, составляет всего лишь 30–40 % от доремонтного ресурса [8].

Устранение непараллельности осей и восстановление межцентровых расстояний осуществляют растачиванием отверстий корпусных деталей, применяя при этом специально разработанные кондукторы или станки, позволяющие обрабатывать сразу все отверстия [32-34].

Классификация способов восстановления изношенных ПО КД приведена на рис. 1.1 [35-39].

Большое распространение в практике ремонтного производства получил способ установки дополнительных деталей – толстостенных и тонкостенных колец [12, 25, 40-42]. Толстостенные кольца запрессовывают в предварительно расточенные отверстия и растачивают под номинальный размер. Иногда кольца стопорят винтами, развальцовкой или клеем [43].

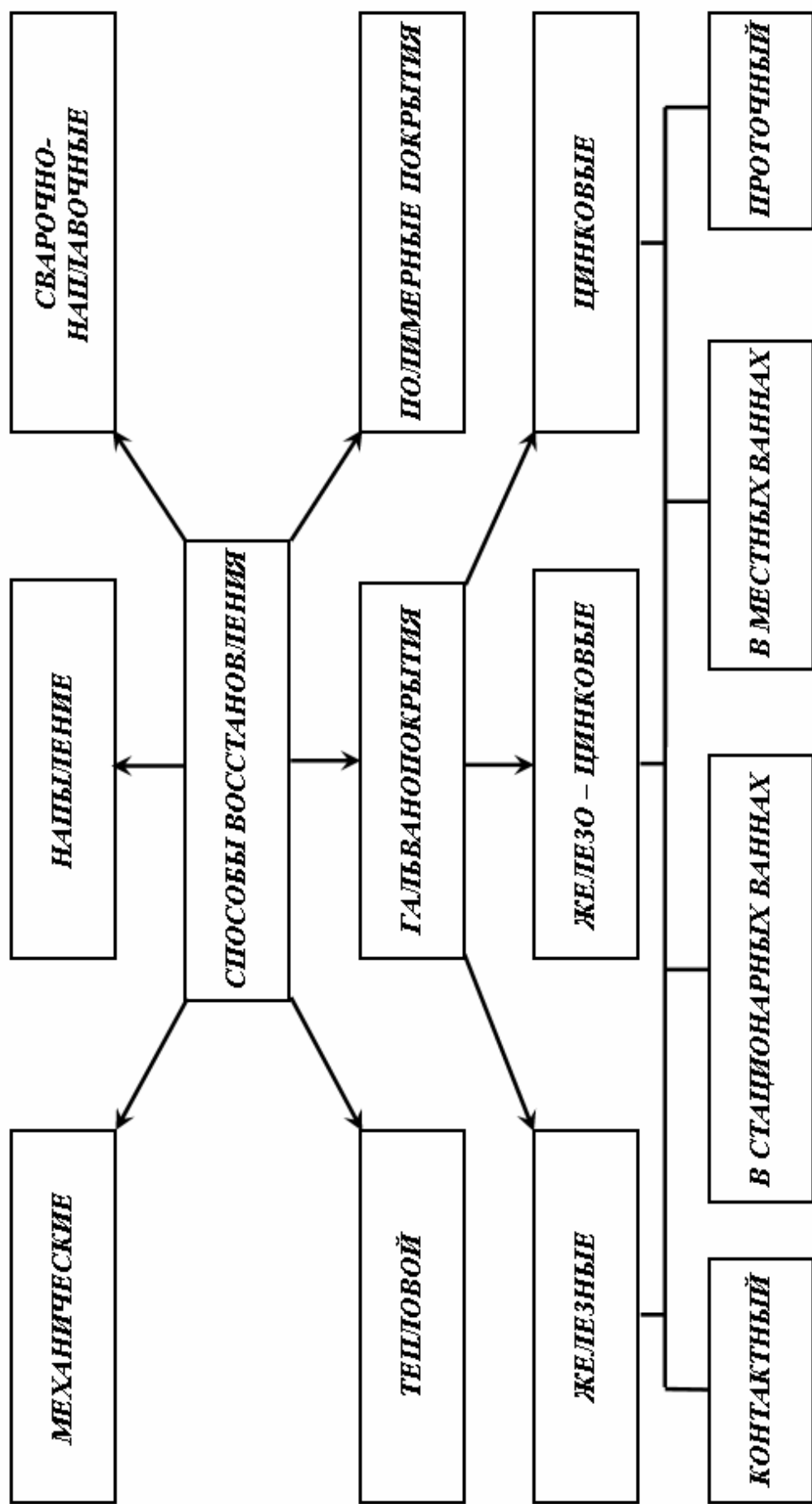


Рис. 1.1. Способы восстановления посадочных отверстий корпусных деталей

Способ достаточно прост, однако предварительная расточка снижает механическую прочность корпусной детали, что приводит к возникновению трещин во время эксплуатации, а иногда и во время запрессовки кольца. Кроме того, он трудоемкий и не универсальный, так как из конструктивных особенностей некоторых деталей он вообще не применим, требует значительного расхода металла.

Вклеивание колец из стальной ленты толщиной 1,0–1,2 мм незначительно снижает прочность детали. Способ прост, но трудоемок, дорог и не обеспечивает высокой прочности соединения «кольцо – деталь».

В ГОСНИТИ разработан способ восстановления ПО КД установкой стальных свертных втулок на клею с последующим раскатыванием [12, 44, 45]. Для КД, работающих при температуре свыше 353 К, рекомендуется применять теплостойкий клей ВС–10Т. Отверждение клея происходит при температуре 448–458 К в течение 1 ч, что создает определенные неудобства.

Цыплаков В.Г. [30] предлагает восстанавливать ПО КД постановкой ленточных элементов с натягом с помощью клина из ленты, с отбортовкой его боковых сторон или его приклеиванием с последующей механической обработкой. Данный способ обеспечивает технические требования на точность размеров, точность расположения ПО, но достаточно трудоемок.

Способы восстановления ПО КД с использованием накатки и электро-механического выдавливания несмотря на очевидную простоту, не находят применения по причине уменьшения площади рабочей поверхности ПО, нарушения структуры и недостаточной долговечности посадки [12, 30, 46–48]. Повторное восстановление этими способами невозможно.

Процессы напыления и пропано-порошковой наплавки обеспечивают высокую производительность, но вместе с этим сопровождаются большим расходом материалов, напыленный слой имеет много пор, плохую сцепляемость с основой [12, 30, 49]. Наплавки другого рода позволяют наносить на изношенные поверхности слой практически любой толщины и химического состава с заданной твердостью и износостойкостью [12, 30, 50–54]. Однако они сопровождаются высокими температурами, которые приводят к нарушению структуры металла, вызывая его «отбеливание», что создает большие трудности при последующей механической обработке. Наплавленные слои содержат большое количество пор, раковин и трещин. Значительные внутренние напряжения приводят к образованию трещин в перемычках и короблению. Геометрические параметры деталей выходят за пределы, допускаемые техническими условиями, а в отдельных случаях могут приобрести отклонения даже большие, чем имели до восстановления.

В ГОСНИТИ разработан метод контактной приварки стальной ленты или порошка на изношенные поверхности ПО КД [46, 57]. Достоинством разработки является исключение значительного нагрева КД. Однако из-за

сложности применяемого оборудования и трудности последующей механической обработки применение его ограничено.

Существует тепловой способ восстановления ПО КД [58]. Он основан на свойстве чугуна увеличиваться в объеме при нагревании до определенной температуры. Способ достаточно прост и универсален, но максимально уменьшить диаметр отверстия этим способом можно только на 0,15 мм, при этом ухудшаются механические свойства металла, образуются перенапряжения в сложных сечениях, что приводит к возникновению трещин и короблению.

В последнее время в ремонтном производстве находят применение полимерные покрытия с различными наполнителями и свойствами. Для восстановления ПО КД рекомендуют наносить композиции на основе эпоксидной смолы, с отверждением их при нагреве по ступенчатому циклу или в магнитном поле [8, 12, 30, 59], эластомеры ГЭН–150 (В), ПС–40 [12, 30, 60], герметик – 6Ф [61-68]. Указанные методы просты и экономичны, частично или полностью предотвращают фреттинг-коррозию. Однако выкрашивание покрытий при механической обработке, многослойность, невысокая твердость, низкая теплопроводность, изменение физико-механических свойств покрытий во времени, необходимость проведения термической обработки, невозможность нанесения покрытий толщиной более 0,2 мм из эпоксидной смолы и 0,1 мм из эластомеров ГЭН – 150 (В) и герметика 6Ф ограничивают применение полимерных материалов.

Одним из перспективных способов восстановления ПО КД является нанесение гальванических покрытий [69-75]. Преимущества гальванопокрытий заключаются в возможности получать путем электроосаждения осадки любой толщины в пределах от нескольких микрометров до 1–2 мм. После нанесения покрытия прочность детали снижается незначительно, структура основного металла не претерпевает изменения, коробление отсутствует, а сами покрытия обладают достаточно высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами [12, 30, 76-81].

Основными способами нанесения гальванических покрытий на поверхности посадочных отверстий корпусных деталей являются осаждение в стационарных ваннах; электролитическое натирание (контактный); осаждение с использованием местных ванн в нециркулирующем электролите; осаждение в проточном электролите (рис. 1.1).

В последнее время внимание ученых и производителей привлекает технологический процесс восстановления изношенных ПО КД гальванопокрытиями в проточном электролите [82-86]. К достоинствам этого способа следует отнести:

- нет необходимости изолировать непокрываемые участки деталей, так как они не соприкасаются с электролитом;
- постоянное обновление электролита в ячейке способствует поддержанию его уровня, заданной температуры, кислотности и концентрации;

– движение электролита способствует увеличению скорости доставки катионов металла к катоду, что позволяет повысить плотность тока, а следовательно, и производительность;

– при выполнении технологического процесса отпадает необходимость перемещения детали по ваннам, так как через ячейку поочередно прокачиваются рабочие растворы и электролиты;

– существует возможность создания переносной установки для нанесения покрытий и работы с небольшим объемом электролита.

Мелковым М.П. и Пашенных А.М. [87, 88] при изучении технологии проточного нанесения покрытий (на примере железнения) было установлено, что обмен электролита в приэлектродном пространстве способствует получению качественных покрытий толщиной 0,8–1,0 мм при скорости осаждения 0,3 мм/ч.

Дальнейшим развитием метода можно считать осаждение покрытия в протоке электролита с одновременным вращением анода, т.е. проточно-контактным способом [89-94]. Однако, несмотря на большие возможности рассматриваемого метода, следует отметить, что наращивание поверхностей осуществляется с различных установок деталей, соприкосновение ненаращиваемых поверхностей с электролитом и его разбрызгивание создают определенные неудобства [95, 96].

К рассмотренным методам также можно отнести осаждение покрытия в протоке электролита с механической активацией поверхности (гальваномеханический), при которой съём дендритов и уплотнение структуры осадков осуществляется приспособлениями (активаторами), закрепленными на вращающемся аноде. Этот метод позволяет работать с ещё большими плотностями тока, но пока недостаточно изучен и отработан, а анод сложен в изготовлении [34, 97-100].

Для восстановления ПО КД проточным способом на ремонтных предприятиях применяют в основном железные покрытия [1, 6, 36, 38, 39, 69, 70, 71]. Эти покрытия, несмотря на все достоинства (высокую твердость, износостойкость и т.д.), имеют такие недостатки, как низкая коррозионная стойкость, виброгасящие способности, затрудненность последующей механической обработки.

Цинковые гальванопокрытия не имеют перечисленных недостатков, кроме того, цинк в паре с железом является анодом, поэтому в результате коррозионных процессов растворяется цинк, а не основной металл, то есть он обладает высокими антикоррозионными свойствами [97].

Более высокие виброгасящие свойства цинкового покрытия обусловлены их пластичностью и заключаются в гашении вибрационных колебаний, возникающих в результате функционирования агрегатов машин. Это свойство выгодно отличает цинковые покрытия от железных, так как вибрационные воздействия порождают знакопеременные напряжения и приводят к накоплению повреждений в материале, что вызывает появление усталост-

стных трещин и разрушение. К тому же последующая механическая обработка цинковых покрытий не вызывает каких-то затруднений [97].

В ремонтном производстве применяются покрытия сплавами на основе цинка и чистым цинком. Например, Павлов А. [101], Новиков А. [102] и Плеханов И. [103] предлагают наносить цинконикелевые гальванопокрытия из сернокислых электролитов № 1, № 2, № 3 (табл. 1.1). Электролиз ведут на асимметричном переменном токе промышленной частоты. Экспериментальные и эксплуатационные исследования на образцах показали, что износостойкость таких покрытий находится на уровне материала восстанавливаемых деталей с достаточной прочностью сцепления с основой. Покрытия хорошо обрабатываются резанием, обладают стойкостью против коррозии и незначительно снижают усталостную прочность восстановленных деталей.

В другой своей работе Плеханов И. [104], а также Хлыстов А. [91] предлагают восстанавливать изношенные ПО КД нанесением железоцинковых покрытий из сернокислых электролитов № 4, № 5 и № 6 (табл. 1.1). Осаждение проводят без перерыва на одной установке, которая обеспечивает в каждой постели создание микрованны с общим вращающимся анодом и проточным электролитом. Поверхность покрытия получается чистой и гладкой, содержание легирующего элемента от 0,8 до 5 %. Время осаждения слоя толщиной 0,45-0,5 мм составляет 35-40 мин.

При увеличении плотности тока микротвердость железоцинковых покрытий увеличивается до 1800 МПа, а цинконикелевых имеет минимум при 6 А/дм², равный 1450 МПа. С повышением температуры электролитов микротвердость железоцинковых покрытий снижается, а цинконикелевых увеличивается. Для обеспечения надежного сцепления осажденного слоя железоцинкового покрытия с поверхностью необходимо подогреть её до температуры 323 К. Такой подогрев происходит при декапировании и осаждении.

Подобная проблема, связанная с поддержанием необходимой температуры электролита, присуща и цинконикелевым сернокислым электролитам. В производственных условиях она не должна превышать 318 К, в противном случае происходит интенсивное разложение комплексной соли никеля с выделением аммиака и, как следствие, – изменение условий осаждения, состава и качества покрытий.

Все вышеуказанное, а также сложный состав электролитов снижает стабильность электролитического процесса осаждения и, в конечном итоге, отрицательно сказывается на качестве получаемых покрытий на основе цинка. Этим обуславливается не достаточно широкое использование цинковых сплавов для восстановления корпусных деталей в ремонтном производстве.

Таблица 1.1

Составы электролитов и режимы цинкования

ПОКАЗАТЕЛЬ	Номер электролита										
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
Сернокислый цинк, г/л	230-290	200-240	200-250	200-250	150-220	250	200-300	-	-	200-250	200-300
Оксид цинка, г/л	-	-	-	-	-	-	-	12-15	10-20	-	-
Едкий натр, г/л	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-
Сернокислый никельамоний, г/л	35 -55	-	30-50	-	-	-	-	-	-	-	-
Сернокислое железо, г/л	-	-	-	40-80	180-300	80	-	-	-	-	-
Сернокислый никель, г/л	-	60-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сернокислый алюминий, г/л.	-	-	20-30	30-60	30-60	-	30-50	-	-	20-30	30-50
Сернокислый натрий, г/л	30	50-60	-	80-100	-	-	50-100	-	-	80-90	50-100
Сернокислый марганец, г/л	-	-	-	-	60-150	-	-	-	-	-	-
Хлористый алюминий, г/л	-	-	-	-	-	-	-	-	200-300	-	-
Гипофосфит натрия, г/л	3 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Борная кислота, г/л	-	25-30	-	-	-	-	-	-	25-30	30-40	-
Декстрин, г/л	-	-	-	-	-	-	8-10	0,5	-	-	8-10
Температура электролита, К	311-318	288-303	291-318	291-333	291-353	291-333	288-298	290-298	288-303	291-293	293-303
Плотность тока, А/дм ²	12-16	15-20	10-16	4-8	5-16	2,5-5	до 6	4-8	1-2	6-8	6-8
Кислотность, рН	2,5 - 3,5	2,0-3,5	1,5-2,5	3,0-4,5	1,7-2,5	2-3	3,5-4,5	3,5-4,5	5,9-6,5	3	3,0-3,5

Следующий шаг в совершенствовании процессов восстановления ПО КД – применение в качестве наносимого покрытия чистого цинка. Это дает возможность производить электролитическое осаждение гальванопокрытия из более простых и недорогих электролитов цинкования, что, в свою очередь, позволит повысить стабильность процесса электролитического осаждения, его производительность и качество получаемого слоя.

Для нанесения цинковых гальванопокрытий разработано много электролитов. Наибольшее распространение в ремонтном производстве получили кислые, цинкатные и аммиакатные электролиты № 7, № 8, № 9 (табл. 1.1).

Авторы [18, 94] разработали и внедрили технологию восстановления постелей коренных подшипников блока цилиндров двигателей ЗИЛ–120 и Д–50 цинковыми покрытиями, наносимыми электроконтактным способом. Данные покрытия, в силу пластичности цинка, имели невысокие физико-механические свойства. Кроме того, используемая в качестве тампона адсорбирующая ткань (сукно, войлок и др.) заполняется шламом, что ведет к внедрению его в покрытие и замыканию цепи при местном истирании ткани.

При необходимости твердость цинковых покрытий повышают путем легирования их другими металлами (железом, никелем, кобальтом, кадмием и др.) или проведением упрочняюще-калибрующей финишной обработки [105].

Для нанесения цинковых покрытий также используются нестационарные режимы с применением периодического тока [12, 24, 78, 79, 92, 106, 107]. При этом процесс осаждения интенсифицируется в 2 - 3 раза, а свойства покрытий улучшаются. хорошие результаты дает цинкование реверсивным током в сернокислых электролитах №10 и №11 (табл. 1.1).

Таким образом, проточное электролитическое цинкование, является одним из наиболее эффективных способов восстановления ПО КД машин. Цинковые покрытия лишены недостатков железных и осаждаются в основном из сернокислых электролитов, что объясняется простотой технологии и стабильностью процесса осаждения, низкой стоимостью применяемых солей. Однако электролитические осадки чистого цинка для восстановления изношенных поверхностей применяют в основном, когда толщина осаждаемого покрытия без последующей механической обработки не превышает 0,1 мм или для защиты от коррозии, где механическая прочность не имеет существенного значения. Технологические процессы восстановления деталей цинкованием составляют не более 7 % от общего количества процессов, основанных на нанесении гальванопокрытий [1]. Это объясняется тем, что производительность процесса осаждения остается невысокой, перспективные способы нанесения цинковых гальванопокрытий изучены мало. Отсутствуют единые производственные рекомендации по составу электролитов, режиму анодной

обработки и осаждения покрытия в проточном электролите, которые обеспечили бы высокую прочность сцепления покрытия с основой.

Прочность сцепления покрытия с основой, в свою очередь, во многом определяется подготовительными операциями и начальным периодом осаждения цинка, а также структурой технологического процесса [1, 6].

1.2. Зависимость прочности сцепления покрытия с основой от подготовки поверхностей к электролитическому цинкованию

Сцепление металла покрытия с металлом детали обуславливается их межмолекулярным взаимодействием. Межмолекулярные силы заметно проявляются, только если расстояние между атомами составляет не более 5×10^{-5} мкм. Они убывают пропорционально третьей степени межатомного расстояния [6, 25, 78, 79, 92, 106, 107]. Покрываемым поверхностям придают необходимую шероховатость. С них удаляют различные загрязнения, жировые и оксидные пленки. Металл осаждается на активном чистом катоде, свободном от чужеродных частиц. В результате покрытие физически срастается с основным металлом настолько прочно, что не отслаивается от детали даже при ее разрушении и работает как одно целое с основным металлом. Нарушение технологии подготовки уменьшает его сцепляемость и может привести к отслаиванию от детали.

Подготовка поверхностей деталей к электролитическому цинкованию заключается в их механической обработке, обезжиривании и травлении с промежуточными промывками.

Механическая обработка предназначена для удаления с покрываемой поверхности следов износа и придания поверхностям детали правильной геометрической формы. В процессе восстановления детали обычно шлифуют до шероховатости, соответствующей 6...7-му классу, или зачищают шкуркой (при небольших равномерных износах) [6]. Промывки органическими растворителями (бензином, керосином и др.) применяют тогда, когда необходимо дополнительно очистить деталь от грязи и масла. Обезжиривание проводится с целью очистки поверхности от различных жиров, окислов и других загрязнений. Все загрязнения при попадании в электролит снижают его качество, а жировые пленки, изолируя металл от электролита, препятствуют осаждению покрытия.

Наибольшее распространение в ремонтном производстве получило щелочное обезжиривание, которое выполняется химическим или электрохимическим способами. При химическом обезжиривании детали загружают в горячий щелочной раствор и выдерживают в нем определенное время или протирают поверхность детали венской известью. Как отмечает Батищев А.Н. [79], обезжиривание венской известью дает отличные

результаты и иногда незаменимо при обезжиривании отдельных участков крупных деталей сложной конфигурации.

Сущность электрохимического обезжиривания заключается в том, что детали, погруженные в щелочной раствор, включают в цепь электрического тока в качестве анода и катода. Наиболее часто для этих целей применяются комплексные электролиты, состоящие из каустической и кальцинированной соды, тринатрийфосфата и жидкого стекла. Исследованиями [6, 69, 79, 107, 108] установлено, что высокое качество очистки достигается в щелочном растворе следующего состава (г/л): Na_2CO_3 – 30...50, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ – 15...25, NaOH – 30...50, Na_2SiO_3 – 2...3 при температуре (55 ± 1) К. Время очистки чугунных деталей на катоде составляет (10 ± 2) мин при плотности тока 10...14 А/дм². Павлов А. [101] предлагает проводить электрохимическое обезжиривание покрытия перед нанесением цинконикелевого покрытия в растворе следующего состава: сода каустическая 35-40 г/л, сода кальцинированная 25-30 г/л, тринатрийфосфат 15-20 г/л, стекло жидкое 2-3 г/л при температуре 65-70⁰ С и плотности тока 12-16 А/дм².

Для удаления окисных пленок, образующихся на поверхности металла под воздействием окружающей среды или в процессе обработки, а также для выявления структуры металла проводят химическое или электрохимическое травление.

Химическое травление черных металлов проводится в основном в растворах соляной, серной кислот и их смесях [81, 106, 109, 110]. Фосфорная, азотная и плавиковая кислоты находят ограниченное применение. Это обусловлено тем, что при травлении в фосфорной и плавиковой кислотах, образующиеся на поверхности деталей пленки фосфатов фторидов железа препятствуют прочному сцеплению покрытий с основой, а азотная кислота сильно разъедает и окисляет поверхность [81].

Кроме того, все они чрезвычайно ядовиты. Процесс химического травления малопроизводителен. В растворах быстро накапливаются ионы железа, что требует частой их замены. Независимо от того, в какой кислоте проводится травление, оно сопровождается выделением водорода, который, проникая в металл, повышает его хрупкость, уменьшает вязкость и прочность, что оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики деталей, особенно работающих при знакопеременных нагрузках [109].

Электрохимический способ травления уменьшает время обработки деталей, снижает расход материалов, позволяет обрабатывать материалы различного химического состава [109]. Применяются два способа электрохимического травления: анодный и катодный.

Катодное травление не применяется для подготовки изношенных деталей машин к нанесению покрытий, его целесообразно применять для полированных деталей и деталей высокой точности [109].

Анодное травление улучшает некоторые механические свойства металла за счет удаления поверхностного слоя, обогащенного внутренними дефектами и концентраторами напряжений, а также исключает наводороживаемость металла [101, 109].

Анодное травление проводят в 30%-м растворе серной кислоты при температуре 291-298 К и анодной плотности тока 18-20 А/дм² в течение 1,5-2,0 мин. Через некоторое время после начала травления напряжение на ванне повышается, а сила тока снижается. Это объясняется переходом металла из активного состояния в пассивное и сопровождается бурным выделением кислорода [6]. Пузырьки последнего срывают травильный шлам, и обрабатываемая поверхность становится чистой с отчетливо выявленной кристаллической структурой и специфическим микро-рельефом.

Качество обработки контролируют визуально – для правильно протравленных деталей характерна матовая светло-серая поверхность без блеска, темных пятен и следов травильного шлама.

В ремонтном производстве для повышения надежности процесса также применяется электрохимическое анодное травление непосредственно в электролите осаждения. Применение такого анодного травления позволяет сократить количество основных и вспомогательных подготовительных операций. Для нанесения цинковых гальванопокрытий такая обработка мало изучена.

На основании априорных данных [6, 8, 38, 82, 83, 101, 106, 107, 138] составлена таблица 1.2, в которой приведены схемы технологических процессов подготовки чугуновых корпусных деталей к электролитическому цинкованию в проточном электролите.

Технологические процессы подготовки чугуновых корпусных деталей к проточному цинкованию требуют большого расхода воды для промывки ячеек и шлангов, что в конечном итоге увеличивает загрузку очистных сооружений.

Вода является основным компонентом, оказывающим влияние на себестоимость гальванических покрытий. Рациональное использование воды является важной экологической и экономической проблемой. Сокращение расхода промывных вод и стоков значительно уменьшает затраты на очистку и подготовку воды, а также дает большую экономию реагентов, расходуемых на приготовление растворов и на обработку стоков.

Особое внимание этому вопросу следует уделять еще и потому, что при сравнительно небольшом проценте (до 15 % общего стока) на них ложится основная доля затрат (до 80 %) по очистке [111].

Поэтому важной задачей является разработка технологических процессов нанесения гальванопокрытий с минимальным расходом воды и малым процентом отходов, и в то же время позволяющих получать прочно сцепляющиеся покрытия цинка с основой.

Т а б л и ц а 1.2

Схемы технологических процессов подготовки чугунных корпусных деталей к цинкованию в проточном электролите

Наименование операции переходов	Схемы			
	1	2	3	4
Механическая обработка	+	-	+	+
Зачистка наращиваемой поверхности наждачной шкуркой	+	+	-	+
Обезжиривание химическое	-	-	-	+
Промывка холодной водой	-	-	-	+
Установка приспособления для цинкования	+	+	+	+
Обезжиривание электрохимическое	+	-	+	-
Промывка горячей водой	+	-	+	-
Промывка холодной водой	+	-	+	-
Анодная обработка в 30 %-м растворе серной кислоты	+	-	+	+
Анодная обработка в сернокислом электролите цинкования	-	-	-	-
Промывка холодной водой	-	-	+	+
Анодная обработка совместно с обезжириванием	-	+	-	-
Промывка холодной водой	+	+	-	-
промывка горячей водой	+	+	-	-
Промывка холодной водой	-	+	-	-
Подача сернокислого электролита цинкования и выдержка без тока	+	+	+	+
Подача сернокислого электролита цинкования и выход на режим	+	+	+	+

Кроме того, технологические процессы подготовки деталей подразумевают создание сложных установок и перепускных устройств. В электролитическую ячейку поочередно подаются растворы различные по своей природе и температурному режиму, что неизбежно приводит к их смешиванию, нарушению стабильности их состава, ухудшению технологических свойств, качества и прочности сцепления покрытия с основой.

Значит, высокую прочность сцепления покрытия с основой можно получить лишь при строгом соблюдении режимов подготовки. Однако и соблюдение этих условий не всегда дает положительные результаты по получению прочносцепляющихся осадков. Видимо, на стабильность процесса оказывают воздействие какие-то случайные неконтролируемые факторы.

Митряков А.В. [112] предложил оценивать получаемую прочность сцепления покрытия с основой с точки зрения теории надежности. Под технологической надежностью процесса подготовки деталей к цинкованию подразумевается процент восстановленных деталей с высокой прочностью сцепления. Сам процесс подготовки представляет собой техническую систему, в которой в качестве элементов выступают операции.

Надежность технической системы определяется количеством и надежностью элементов, их функциональной связью. А надежность самих же элементов, определяется технологическими факторами (температура,

плотность тока время обработки и т.д.) и зависит от качества проведения предшествующей операции.

Отказ любого из элементов вызывает отказ всей технической системы. То есть связь между элементами системы последовательная и к ней можно применить вторую теорему вероятностей, согласно которой вероятность совместного появления нескольких зависимых событий равна произведению вероятности одного из них на условные вероятности всех остальных.

Принимая вероятность качественного проведения механической обработки, зачистки поверхности наждачной шкуркой и установки приспособления для цинкования, равной 1, получим для схемы 1 (табл. 1.2)

$$P_{\text{сц1}}(t) = P_{\text{об}}(t) \times P_{\text{пр1}}(t) \times P_{\text{пр2}}(t) \times P_{\text{тр}}(t) \times P_{\text{пр3}}(t) \times P_{\text{пр4}}(t) \times P_{\text{выд}}(t) \times P_{\text{вых}}(t), \quad (1.1)$$

где $P_{\text{об}}(t)$ – безусловная вероятность безотказного выполнения обезжиривания; $P_{\text{пр1}}(t) \dots P_{\text{вых}}(t)$ – условные вероятности.

Для априорной оценки Митряков А.В. [112] принимал вероятность безотказной работы каждого из рассматриваемых элементов за достаточно большой промежуток времени, равной 0,99.

Принимая это за основу, дадим априорную оценку рассматриваемым технологическим системам (согласно табл. 1.2):

$$P_{\text{сц1}}(t) = 0,99^8 = 0,92; \quad P_{\text{сц2}}(t) = 0,99^6 = 0,94; \\ P_{\text{сц3}}(t) = 0,99^7 = 0,93; \quad P_{\text{сц4}}(t) = 0,99^6 = 0,94.$$

Следовательно, не менее 6 % брака по прочности сцепления заложено в структуре технологического процесса подготовки к цинкованию. Кроме того, надежность технической системы зависит от стабильности надежности каждого элемента и определяется во многом надежностью самого слабого элемента.

Под стабильностью надежности следует понимать изменение надежности элемента во времени. При подготовке корпусных деталей к цинкованию в проточном электролите по схемам 1-4 (табл. 1.2) надежность технической системы снижается из-за смешивания рабочих растворов, что приводит к потере их технологических свойств.

С целью совершенствования технологического процесса цинкования можно проводить операцию анодного травления непосредственно в электролите цинкования.

При этом структурную схему подготовки детали можно представить следующим образом:

- 1) механическая обработка;
- 2) обезжиривание поверхностей детали венской известью;
- 3) промывка в холодной воде;
- 4) анодное травление в сернокислом электролите цинкования;

5) удаление продуктов травления с покрываемых поверхностей и выход на режим;

б) цинкование.

Принимая надежность каждого элемента предлагаемой технической системы, равной надежности элементов существующих систем (1-4) $P_i(t)=0,99$, получим априорную оценку ее технологической надежности результатов по прочности сцепления.

$$P_{\text{сц}}^{\text{пр}}(t) = P_{\text{об}}(t) \times P_{\text{пр}}(t) \times P_{\text{тр}}(t) \times P_{\text{вых}}(t) = 0,99^4 = 0,96. \quad (1.2)$$

Стало быть, надежность предварительно предполагаемого технологического процесса на 2...4 % выше, чем существующих.

Однако это возможно в том случае, если надежность введенных элементов будет не менее надежности замененных, то есть, например, по сравнению со схемой 3 (табл. 1.2)

$$P_{\text{тр}}(t) \times P_{\text{вых}}(t) \geq P_{\text{тр}3}(t) \times P_{\text{пр}3}(t) \times P_{\text{вых}3}(t). \quad (1.3)$$

Как отмечает автор [112], обязательным условием при этом является, по крайней мере, равенство количественных показателей по прочности сцепления покрытия с основой при существующем и предварительно предполагаемом технологическом процессе подготовки к цинкованию. Исходя из этого, основное условие по прочности сцепления гальванослоя с подложкой можно представить в следующем виде

$$\sigma_{\text{сц}}^{\text{пр}} \geq \sigma_{\text{сц}}^{\text{сущ}}. \quad (1.4)$$

Таким образом, предварительная подготовка деталей к электролитическому цинкованию играет огромную роль в получении высокой прочности сцепления покрытия с основой. Сокращение количества операций в структуре технологического процесса за счет замены анодного травления в растворе серной кислоты на травление в электролите осаждения, значительно повышает надежность процесса подготовки поверхности к цинкованию и положительно сказывается на прочности сцепления цинка с основой. Так же упрощается конструкция установки для проточного цинкования, что немаловажно для внедрения этого процесса в ремонтное производство.

Кроме того, исключается применение агрессивных растворов кислот промежуточных промывных операций, при этом сокращается расход чистой питьевой воды, объем сточных вод, загрузка очистных сооружений и количество отходов, что имеет определенное значение в решении проблемы по экономии природных ресурсов и материалов.

Для реализации всех указанных выше преимуществ технологического процесса и доказательства неравенства (1.4) необходимо провести комплекс целенаправленных исследований.

1.3. Пути совершенствования электролитического цинкования

Несмотря на все преимущества, гальванические способы восстановления имеют и существенные недостатки, которые ограничивают их применение в ремонтном производстве. Основные несовершенства [6]:

1. Невысокая надежность технологического процесса и его сложность, что приводит к снижению производительности труда и нестабильным результатам в плане сцепляемости покрытия с основой.

2. Сравнительно низкая производительность осаждения, которая обусловлена невысокой скоростью осаждения цинка и наличием большого количества операций в процессе.

3. Качество покрытий не всегда отвечает предъявляемым требованиям.

4. Потребление значительного количества чистой питьевой воды на этапах промывки и образование соответствующего количества загрязненных сточных вод приводит к необходимости строительства очистных сооружений, что существенно повышает себестоимость восстановления.

Существуют два основных направления совершенствования процессов осаждения [6].

Первое направление – увлечение производительности процесса. Этого можно достичь за счет повышения скорости осаждения покрытия, путем увеличения выхода по току или (и) катодной плотности тока. Выход цинка по току близок к 100 %, поэтому для повышения производительности процессов, необходимо повышать катодную плотность тока.

Основным, наиболее перспективным способом повышения катодной плотности тока при осаждении по праву считается применение новых технологических приёмов. К ним относят создание протока электролита в электролитической ячейке; образование турбулентного движения электролита в прикатодном слое путем введения в межэлектродное пространство вращающейся перфорированной перегородки; использование периодических токов; активация катодной поверхности абразивными элементами и другие [1, 6, 25, 113].

Проток электролита позволяет повысить приповерхностную концентрацию активных ионов, уменьшить перенапряжение и тем самым положительно сказывается на выходе по току цинка [107].

Введение в межэлектродное пространство вращающейся перфорированной перегородки способствует созданию турбулентного движения электролита около катодной поверхности, что позволяет устранить концентрационную поляризацию и значительно повысить плотность тока. Вращение перегородки также препятствует образованию на катодной поверхности дендритов, образующихся при высоких плотностях тока.

Этот прием можно использовать как с протоком электролита, так и без него [1, 6].

При использовании периодических токов (реверсивного, асимметричного, импульсного и других) вместо постоянного в несколько раз повышается производительность процесса и улучшаются свойства покрытий.

Сущность способа заключается в том, что ток, изменяясь по определенному закону, периодически меняет свое направление. Деталь попеременно становится то катодом, то анодом, а катодное осаждение металла на детали периодически прекращается и заменяется его кратковременным частичным растворением. При этом растворении разрушается образовавшаяся пассивная пленка, а прикатодный слой электролита обогащается катионами металла [6].

Повторение таких циклов при правильном выборе соотношения количеств электричества катодного и анодного периодов снижает катодную поляризацию.

Последний прием применяется при гальваномеханическом способе нанесения покрытий и позволяет резко повысить плотность тока. Сущность этого приема заключается в том, что на протяжении всего процесса электролиза абразивные элементы перемещаются по катодной поверхности, активируя её. Происходит незначительный съём осаждаемого покрытия и удаление пассивной пленки, препятствующей осаждению покрытия. Так же происходит дополнительное обновление прикатодного слоя электролита и исключение дендритообразования. При этом катодную плотность тока можно повысить в несколько раз. Механическое активирование позволяет получать покрытия с одинаковой микротвердостью при различных плотностях тока. Отмечается также некоторое увеличение микротвердости покрытия за счет таких явлений, как наклеп и выглаживание [99, 100, 114].

Второе направление – сокращение числа подготовительных и заключительных операций. Это позволит существенно упростить технологический процесс, повысить его надежность и снизить трудоёмкость, а также значительного уменьшения потребления чистой воды и образования загрязненных стоков.

Например, разработка технологии анодного травления восстанавливаемой детали непосредственно в электролите цинкования позволит отказаться от операций травления в других растворах (например, в растворе серной кислоты) и промывки до и после травления. Это позволит сократить время обработки, а также повысит стабильность процесса подготовки детали к осаждению цинка.

Таким образом, совершенствование электролитического цинкования заключается в повышении его производительности путем применения передовых технологических приемов, позволяющих повысить катодную плотность тока, и сокращении количества подготовительно-заключительных операций в технологическом процессе. Одним из наиболее перспек-

тивных технологических приемов является механическое активирование катода.

Выводы и задачи исследований

1. Одним из наиболее эффективных методов восстановления изношенных ПО КД машин является проточное электролитическое цинкование.

2. Цинковые покрытия легко обрабатываются и обладают высокими антикоррозионными и виброгасящими свойствами.

3. Для нанесения цинковых гальванопокрытий используются в основном сернокислые электролиты.

4. На прочность сцепления цинка с основой сильное влияние оказывает анодная обработка и начальный период осаждения.

5. Надежность процесса подготовки деталей к проточному цинкованию можно повысить, проводя их травление в электролите цинкования.

6. Одним из способов повышения производительности проточного электролитического цинкования является механическое активирование катодной поверхности.

В связи с вышеизложенным поставлены следующие **задачи**:

1. Обосновать возможность анодного травления серого чугуна в сернокислом электролите цинкования и повышения производительности процесса проточного электролитического цинкования.

2. Исследовать влияние технологических факторов на электрохимическое растворение чугуна СЧ 18 в сернокислом электролите цинкования.

3. Исследовать влияние режимов анодного травления чугуна СЧ 18 и начального периода проточного цинкования на прочность сцепления покрытия с основой.

4. Исследовать влияние режимов рабочего периода проточного цинкования на физико-механические свойства покрытий и производительность процесса.

5. Провести сравнительные исследования виброгасящей способности чугуна СЧ 18 и цинкового гальванопокрытия.

6. Провести эксплуатационные испытания деталей, восстановленных по разработанной технологии.

7. Разработать и внедрить в производство практические рекомендации и определить их технико-экономическую эффективность.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АНОДНОГО ТРАВЛЕНИЯ ЧУГУНА В ЭЛЕКТРОЛИТЕ СЕРНОКИСЛОГО ЦИНКА И ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗА МЕХАНИЧЕСКИМ АКТИВИРОВАНИЕМ КАТОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

2.1. Влияние структуры поверхности металла на его анодное растворение

Скорость анодных процессов определяется природой металла, его чистотой и структурой поверхности, а также составом электролита [115]. Поэтому в каждом конкретном случае режимы анодной обработки поверхности металла перед осаждением гальванических покрытий будут отличаться друг от друга.

В процессе электрохимического травления происходит удаление толстых окисных пленок и дефектного поверхностного слоя металла, а также выявление его структуры. Продукты травления при этом остаются на поверхности анода – детали в виде темного мажущего налета (шлама). В раствор переходят ионы двухвалентного железа $Fe \rightarrow Fe^{2+}$. По достижении плотности анодного тока некоторого критического значения $D_{кр}$ начинается второй процесс – пассивирование, сопровождающийся резким повышением напряжения на зажимах ванны и снижением силы тока. Потенциал анода повышается до уровня, при котором происходит бурное выделение кислорода, который и срывает шлам с поверхности анода – детали. Она становится чистой, покрытой пассивной пленкой, которая, как считается, предохраняет поверхность от окисления при перемещении детали по ваннам или смене электролита [70, 87].

Установлено, что качество очистки поверхности от шламовой пленки определяется в основном соотношением скоростей разряда кислорода и перехода в раствор ионов железа. Причем, чем меньше размер выделяющихся пузырьков, тем быстрее очищается поверхность анода [69, 110, 116]. Одним из способов уменьшения диаметра пузырьков является повышение анодной плотности тока до определенных значений, превышение которых приводит к флуктуационному нарушению защитной окисной пленки.

Время достижения потенциала выделения кислорода и наступления пассивного состояния зависит от плотности тока. При низких плотностях тока это время больше, чем при высоких, и поэтому увеличивается время активного растворения металла.

Большое значение имеют границы зерен и субзерен металла, который обычно имеет поликристаллическое строение. Даже монокристаллы

металла могут значительно отличаться по анодному поведению из-за различий в поведении плоскостей решетки, дефектов и дислокаций или следов загрязнений [115]. Железоуглеродистые сплавы по своей природе не имеют однофазной структуры. Структура серого чугуна СЧ 18 состоит из феррита, цементита и пластинчатого графита [117]. Графит и все другие неметаллические включения играют важную роль в анодных процессах. Установлено, что максимальную скорость растворения имеют участки металла, находящиеся рядом с неметаллическими включениями. Процесс растворения чугуна локализуется вдоль графитовых включений, форма и величина которых в значительной степени определяют его скорость [118, 119–126]. Пластинчатая форма графита способствует проникновению электролита вглубь чугуна.

Металлическая основа тоже определяет способность чугуна к растворению. В исследованиях [125] показано, что ферритный магниевый чугун имеет самую низкую скорость растворения, так как феррит имеет меньший электродный потенциал ($-0,44$ В) и играет роль анода. В чугунах с перлитной и перлитно-ферритной основой эвтектоидный цементит является наиболее эффективной катодной составляющей. Вследствие увеличения границ контакта катодной (цементит) и анодной (феррит) составляющих скорость растворения перлитных и перлитно-ферритных чугунов значительно выше.

Сильная зависимость анодного поведения чугунов от формы графитных включений и структуры металлической основы создает определенные трудности при анодной обработке перед нанесением гальванических покрытий. Например, анодная обработка серого чугуна в 30 %-м растворе серной кислоты, движущейся со скоростью $0,5$ м/с, при плотности тока менее 70 А/дм² приводит к накоплению на его поверхности шлама [110].

Возможно, это связано именно с тем, что из-за более активного растворения чугуна на участках, прилегающих к графитовым включениям, поверхность получается развитой, а шламовая пленка имеет неравномерную толщину, что затрудняет отделение ее от поверхности чугуна выделяющимся кислородом.

Таким образом, характер и скорость растворения чугунов в электролитах зависит от структуры металлической основы и формы графитовых включений.

Одним из условий получения, прочно сцепляющихся цинковых покрытий с чугуном, является равномерное травление его поверхности с последующей очисткой от шлама и образованием сплошной пассивной пленки, которая защищает обрабатываемую поверхность от окисления при перемещении детали по ваннам или смене электролита.

На процесс растворения чугунов также оказывает большое влияние природа и состав электролита, в котором осуществляется травление. Механизм анодного растворения чугунов в электролитах, содержащих

сульфат-ионы, имеет ряд особенностей и заслуживает детального рассмотрения.

2.2. Анодное растворение железа в растворах, содержащих сульфат-ионы

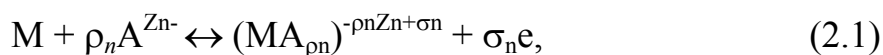
Колотыркин Я.М. и другие [127] считают, что механизм воздействия анионов на поверхность металла, определяющийся их природой, неодинаков, но в большинстве случаев анодного растворения сводится к действию двух главных факторов:

1. Анионы, обладающие достаточным сродством к металлу, образуют с ним промежуточные поверхностные комплексы, слабо связанные с решеткой и переходящие поэтому в раствор. Прочность связи зависит, помимо природы анионов и металла, от величины потенциала и определяет величину анодного тока.

2. Анионы, не склонные к образованию легко переходящих в раствор комплексов, но способные адсорбироваться на поверхности, занимают свободные места, препятствуя тем самым активному растворению металла.

На основе этих представлений была сформирована общая принципиальная схема участия анионов в процессе растворения металла, состоящая для каждой n -й компоненты из трех главных стадий [127]:

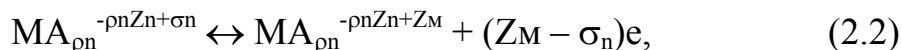
1. Хемосорбция иона A^{Z-}



где Zn – валентность аниона, $n = 1, 2, \dots, N$; N – число компонент раствора, ионы которых участвуют в электродном процессе; σ – доля электронного заряда, затраченная на образование химической связи; $(MA_{\rho n})^{-\rho n Zn + \sigma n}$ – поверхностный комплекс.

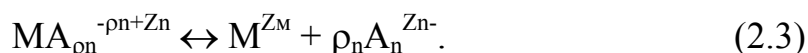
Взаимодействие анионов с металлом зависит от потенциала.

2. Стадия ионизации комплекса с переходом его в объем



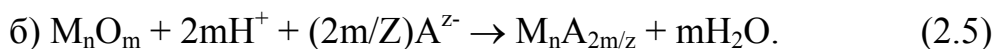
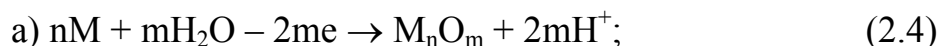
где Z_M – валентность металла.

3. Стадии химического преобразования комплекса в растворе (если оно имеет место), в частности его диссоциация, в результате которой анионы регенерируются.



Анодное поведение металлов можно описать двумя последовательными реакциями – образования барьерной анодной оксидной пленки в результате взаимодействия металла с кислородом воды (а) и химического

растворения этой пленки в электролите (б), который представляет собой раствор соли, подкисленный у поверхности в результате реакции (а) [128]:



При этом скорость реакции (а) будет задаваться плотностью тока и будет протекать с образованием в растворе избытка ионов H^+ . Для соблюдения условия электронейтральности в приэлектродном слое происходит увеличение концентрации анионов электролита. то есть концентрация H^+ и A^{Z-} , а следовательно, и скорость растворения анодной оксидной пленки по реакции (б) зависит от величины плотности тока.

Попов Ю.А. и Алексеев Ю.В. [128], изучая механизм анодного растворения железа в серноокислом электролите железнения, также обнаружили, что процесс растворения протекает под воздействием двух конкурирующих между собой реакций – образование оксида железа и растворение этого оксида под воздействием сульфат-ионов. Соответственно при достижении анодной плотности тока критического значения процесс образования оксидной пленки опережает растворение и наступает состояние устойчивой пассивации. В данном случае время перехода поверхности анода от активного растворения к состоянию устойчивой пассивации будет зависеть от величины анодной плотности тока и концентрации сульфат-ионов в растворе.

Поведение железа в растворе серной кислоты при увеличении анодного потенциала дает переход от активного растворения к состоянию устойчивой анодной пассивации, при этом происходит растворение анодной поверхности параллельно с образованием оксидной пленки. При достижении величины анодного тока некоторого критического значения скорость образования оксидной пленки становится настолько высока, что происходит блокирование поверхности анода и наступает состояние устойчивой пассивации [128]. Наступление состояния устойчивой пассивации сопровождается резким повышением напряжения и снижением силы тока, а также бурным выделением кислорода, который срывает шлам, образующийся на поверхности анода в результате протекания электрохимических реакций.

Согласно имеющимся представлениям пассивная пленка представляет собой тончайший мономолекулярный слой (толщиной в одну молекулу) кислорода, прочно связанного (адсорбированного) с поверхностными атомами металла [68, 85]. Кислород уменьшает химическую активность поверхности металла и предохраняет его от взаимодействия с внешней средой (промывной водой и электролитом).

Как отмечалось ранее, пассивация анодной поверхности играет большую роль при анодном растворении металлов. В настоящее время

существуют две модели механизма пассивации поверхности металлов в водном электролите, содержащем сульфат-ионы [126]:

1. Пассивация связана с механическим экранированием поверхности металла окисным слоем. Согласно этой теории ток растворения пассивного металла постоянен и эквивалентен скорости химического растворения окисла сульфат-ионами. Однако потенциалы образования окислов не совпадают с потенциалами активации E_a и пассивации E_p . Например, для железа это несовпадение составляет 0,63 В. Поэтому эта теория не может быть принята в существующей форме [126].

2. Пассивация связана со специфической адсорбцией ионов кислорода. Согласно этой теории, многократное торможение анодного растворения достигается при малых степенях заполнения поверхности металла анионами, соответствующих всего лишь долям монослоя [126].

Растворение поверхности металла происходит неравномерно и в каждый момент времени в основном на скорость процесса влияет небольшое количество участков повышенной активности. Эти же участки больше предпочтительны при адсорбции ингибирующих анионов в случае их присутствия в растворе. Адсорбция должна быть настолько прочной, чтобы связь анионов с раствором утрачивалась, и они блокировали активные участки поверхности металла. Этим и объясняется снижение тока растворения при малом общем адсорбционном заполнении.

При пассивации металла роль блокирующих анионов принадлежит кислороду молекул воды [126]. Взаимодействие с ними при малых значениях анодного потенциала аналогично гидратации и стимулирует растворение. Параллельно часть молекул воды диссоциирует в ходе адсорбции и ионы кислорода прочно блокируют самые активные центры поверхности металла. Этот процесс можно считать началом пассивации. При увеличении количества адсорбированного на поверхности металла кислорода и происходит образование двухмерных зародышей окисла [126]. Этот процесс существенно влияет на закономерности анодного растворения. По результатам исследований [126] видно, что кинетика образования двухмерного зародыша окисла сильнее зависит от анодного потенциала в сравнении с простой адсорбцией пассивирующих частиц. На поверхности металла образуется, в конечном счете, сплошной монослой, который обеспечивает полную пассивацию.

Установлено, что даже при потенциалах электрода, соответствующих активному состоянию, их поверхность может быть частично запассивирована, при этом степень запассивированности зависит от потенциала.

Это подтверждается исследованиями, при которых было выявлено существенное влияние пассивации на анодное растворение металлов [128]. В частности, по результатам исследований роли пассивации в процессе анодного растворения железа было предложено включить в уравнение для скорости растворения железа член, характеризующий долю поверхности,

занимаемой активными участками, и получено уравнение для сульфатных растворов, содержащее, кроме того, член, характеризующий активность сульфат-ионов и ионов водорода [128].

Авторы [129] также уверены в том, что процесс пассивации сильно влияет на анодное растворение металла и играет роль замедлителя этого процесса. Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие теоретические предположения:

1. Анодная обработка серого чугуна в сернокислом электролите цинкования будет происходить аналогично травлению в растворах, содержащих сульфат-ионы, то есть под воздействием конкурирующих между собой процессов образования оксидной пленки и её электрохимического растворения анионами SO_4^{2-} .

2. По достижении анодной плотностью тока некоторого критического значения, а электродом – определенной величины потенциала будет происходить переход от активного растворения поверхности чугуна к состоянию устойчивой пассивации, с образованием сплошной пассивной мономолекулярной пленки.

3. Для получения качественных прочносцепляющихся цинковых гальванопокрытий необходимо обеспечить режим анодной обработки, при котором обрабатываемая поверхность была бы протравлена на необходимую величину до наступления состояния устойчивой пассивации и впоследствии оказалась покрыта сплошной пассивной пленкой.

4. Чугун при растворении в сернокислом электролите цинкования будет себя вести как обычная пассивирующаяся система.

2.3. Влияние механического активирования катодной поверхности на процесс осаждения гальванопокрытий

По современным представлениям процесс электрокристаллизации можно разделить на следующие основные стадии [106, 130]:

1. Перенос разряжающихся ионов из электролита к поверхности катода;

2. Присоединение электрона к иону;

3. Диффузия ад-атомов (ад-ионов) по поверхности катода к местам роста и построение кристаллической решетки (образование двух- и трехмерных зародышей, внедрение атомов в кристаллическую решетку);

4. Процесс распределения адсорбированных атомов в решетке металлических кристаллов.

При этом скорость протекания всего процесса электрокристаллизации зависит от следующих торможений:

1. Замедленный перенос разряжающихся ионов к катоду – концентрационное перенапряжение (1-я стадия).

2. Замедленный разряд ионов, который обусловлен затруднениями переноса заряда через двойной электрический слой – электрохимическое перенапряжение (2-я стадия).

3. Трудности, связанные с построением кристаллической решетки – кристаллизационное перенапряжение (3-я стадия).

4. Торможение электродного процесса также возможно из-за медленного протекания одной из химических реакций, составляющих суммарную электродную реакцию – химическое перенапряжение.

5. Замедление процесса электрокристаллизации из-за прочной адсорбции посторонних частиц на поверхности электрода – пассивационное перенапряжение.

Одним из существенных факторов, влияющих на характер образования и скорость роста кристаллов в процессе электроосаждения металлов, является скорость пассивирования катода [106, 131]. Причина пассивирования – адсорбция активными участками поверхности катода посторонних молекул, органических и неорганических веществ, гидроокиси металлов (в виде золя), водорода, образование продуктов взаимодействия металла с электролитом, кислородом воздуха и т.п. в результате, на поверхности катода образуется плохо растворимая пленка, препятствующая проникновению к поверхности катода ионов осаждаемого металла. Блокирование поверхности катода чужеродными веществами приводит к увеличению истинной плотности тока, а следовательно, и потенциала катода, достигающего таких значений, при которых возможно образование новых кристаллических зародышей. При этом разряд ионов возобновляется только после удаления пассиватора [131-133]. Очевидно, что скорость пассивирования зависит от значения плотности катодного тока. Следовательно, при определенном (предельном) значении плотности катодного тока наступит такое состояние, когда скорость образования пассивного слоя (пленки) достигнет такой величины, при которой проникновение ионов металла к поверхности катода будет практически невозможно.

Скорость процесса электроосаждения зависит от величины потенциала электрода; от изменения концентрации раствора по фронту роста (т.е. там, где происходит наиболее быстрое восстановление ионов, приводящее к обеднению растворов); от равномерности поступления разряжающихся ионов к растущим участкам поверхности электрода; от степени активности катодной поверхности; от скорости и величины пассивирования катодной поверхности; от температуры раствора; от скорости протока электролита.

Явление пассивирования поверхности катода было хорошо изучено экспериментально Вагряном А.Т. [134] и другими [135]. Эти исследования показали, что после определенной выдержки (по времени) катода в электролите или после перерыва электролиза число образующихся кристаллических зародышей уменьшается, особенно резко при

добавлении к раствору органических поверхностно-активных веществ (декстрин, сапонин). Перемешивание электролита способствует увеличению скорости пассивирования растущих граней кристалла, так как при этом искусственно создаются условия, при которых увеличивается скорость переноса пассиватора к катоду. С возрастанием температуры пассивирующее влияние органических примесей уменьшается, что объясняется уменьшением адсорбции этих примесей поверхностью катода.

При изучении роста монокристаллов было обнаружено, что процесс электрокристаллизации может протекать также без заметного перенапряжения и образования новых зародышей [134]. Это возможно, если на поверхности растущего кристалла имеются дефектные участки (дислокации) с расположением структурных элементов, отличающимся от их расположения в идеальной решетке этого же кристалла. Кристаллические дефекты на поверхности грани значительно облегчают процесс кристаллизации.

Пассивное состояние и образование активных мест роста кристаллов на поверхности катода хорошо иллюстрируется опытами, при которых на катод, находящийся в электролите, во время электролиза наносили царапины. Было установлено, что на месте царапин вследствие механического активирования этой части поверхности первые зародыши образовались значительно легче и при пониженном потенциале. Наличие царапин вызывает увеличение числа активных мест роста кристаллов в результате появления свободных углов и ребер микрокристаллов катода, на которых локализуется выделение металла. При этом обнаружено, что активированная таким образом поверхность через некоторое время теряет свою активность. Такую потерю активности катодной поверхности можно объяснить восстановлением пассивирующей пленки с течением времени. Также отмечено, что для образования нового зародыша на запассивированной поверхности катода необходимо использовать большую силу тока, нежели на активированной поверхности [106, 134].

Для повышения скорости осаждения гальванопокрытия, как известно, необходимо увеличивать катодную плотность тока. Но бесконечно наращивать катодную плотность тока невозможно, так как при определенном критическом её значении наступает такое состояние, при котором образование новых кристаллических зародышей становится весьма затруднительно и дальнейшее увеличение не даст никакого эффекта, а начнется интенсификация процесса дендритообразования. То есть произойдет усиленный рост кристаллов на наиболее активных участках катодной поверхности, что, в конечном счете, приведет к замыканию катода с анодом и прекращению процесса электролиза.

Авторами работы [135] были получены катодные поляризационные кривые на Fe, Ni, Pd и др. в сернокислом растворе в атмосфере аргона без обновления (активации) и с обновлением катодной поверхности. При

анализе этих зависимостей было установлено, что на металлах, хорошо адсорбирующих водород (Fe, Ni, Pd), при зачистке поверхности наблюдается значительное снижение перенапряжения выделения водорода по сравнению с не зачищаемыми металлами. Было показано, что снижение перенапряжения ионизации кислорода при зачистке связано с удалением с поверхности катода адсорбированных анионов, которые тормозят процесс ионизации кислорода. По результатам работ можно предположить, что в качестве таких ионов в первую очередь выступают сульфат-ионы. В этой же работе было выявлено, что при механической активации катодной поверхности устраняются такие торможения электродного процесса осаждения, как адсорбционные торможения (пассивация) и торможение от диффузионных ограничений.

Пассивная пленка, образующаяся при анодной обработке, даже при выдержке в электролите осаждения без тока, удаляется не полностью, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на прочности сцепления гальванопокрытия с основой. Этого можно избежать путем механической активации катодной поверхности.

В работах [98, 99, 100, 114] показано (на примере железнения), что механическое активирование поверхности катода позволяет увеличивать скорость осаждения за счет применения более высоких значений катодной плотности тока. Было экспериментально подтверждено предположение о нецелесообразности проведения механической активации покрываемой поверхности во время анодной обработки. Выявлено, что одно из преимуществ гальваномеханического способа – это получение хорошего сцепления покрытий с основой при проведении анодной обработки в основном электролите. Также отмечено, что механическое активирование позволяет получать покрытия с одинаковой микротвердостью при различных плотностях тока. Возможно даже некоторое увеличение микротвердости за счет таких явлений, как наклеп и выглаживание.

Горобец В.Ф. сделал предположение, что для получения равномерного и плотного покрытия активирующий инструмент должен наносить на поверхность катода максимально возможное количество равномерно распределенных царапин [114]. При этом необходимо, чтобы происходило не менее одного воздействия на пакет роста осаждаемого покрытия, а глубина внедрения зерен не превышала его толщину. Создание на покрываемой поверхности максимально возможного количества царапин при минимальном съеме металла будет возможно при использовании активирующего инструмента с наименьшей зернистостью и максимальной эластичностью связки; при определенной глубине внедрения зерна и частоте ее активации.

Исходя из сделанного автором предположения, что активирующий инструмент должен воздействовать на элементарный пакет роста покрытия не менее одного раза, получаем

$$K_a = n_{\text{сл}}, \quad (2.6)$$

где K_a – частота активации, мин^{-1} ; $n_{\text{сл}}$ – число пакетов роста образовавшихся в течение 1 мин на катоде.

Используя закон Фарадея, число пакетов роста будет равно

$$n_{\text{сл}} = V_{\text{ос}}/h_{\text{сл}}, \quad (2.7)$$

где $V_{\text{ос}}$ – скорость осаждения покрытия мм/мин ; $h_{\text{сл}}$ – толщина пакета роста, мм .

Тогда частота активации, мин^{-1} , будет равна

$$K_a = C \times D_{\text{к}} \times \eta / (6 \times 10^4 \times \gamma \times h_{\text{сл}}), \quad (2.8)$$

где C – электрохимический эквивалент металла, г/Ач ; η – выход металла по току в %; $D_{\text{к}}$ – катодная плотность тока, А/дм^2 ; γ – плотность осаждаемого металла, г/см^3 .

Или

$$K_a = n_1 \times n_{\text{бр}}, \quad (2.9)$$

где n_1 – частота вращения активирующего инструмента, мин^{-1} ; $n_{\text{бр}}$ – число брусков.

Выразив n_1 , получаем

$$n_1 = K_a / n_{\text{бр}}. \quad (2.10)$$

Так как при удалении пассивной пленки с катода будет удаляться и слой наносимого металла, то фактическая скорость осаждения, м/мин , равна

$$V_{\text{ф}} = V_{\text{ос}} - V_{\text{р}}, \quad (2.11)$$

где $V_{\text{ос}}$ – скорость осаждения, м/мин ; $V_{\text{р}}$ – скорость среза металла, м/мин .

Естественно $V_{\text{р}}$ должна стремиться к минимуму, то есть $\rightarrow 0$.

Объем металла, снятого абразивным зерном за единицу времени, равен произведению сечения стружки на ее длину [114]:

$$V_{\text{ф}} = C \times D_{\text{к}} \times \eta / (6 \times 10^4 \times \gamma) - h \times S_{\text{бр}} \times K_a / S_{\text{д}}, \quad (2.12)$$

где $S_{\text{бр}}$ – общая площадь брусков, мм^2 ; $S_{\text{д}}$ – площадь покрытия, мм^2 ; h – глубина внедрения зерна, мм .

Глубина внедрения зерна h , мкм, (по И.В. Крагельскому) для условий упругого контакта между активирующим инструментом и покрываемой поверхностью определяется из выражения [114]:

$$h = 2,4 \times r \times (1 - \mu^2)^2 \times (HB/E)^2, \quad (2.13)$$

где r – приведенный радиус неровностей, мкм; HB – твердость по Бринеллю; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона.

Давление активирующего инструмента, кПа, можно определить как:

$$P_{\text{бр}} = 1,4 \cdot HB^5 \cdot (1 - \mu^2)^4 \cdot 10^4 / (\Delta^2 \cdot E^4), \quad (14)$$

где Δ – комплексная характеристика шероховатости.

На основании приведенных зависимостей были определены параметры активации для восстановления посадочного отверстия нанесением цинкового покрытия в проточном серноокислом электролите (при $h_{\text{сл}} = 10^{-4}$ мм; $C = 1,22$ г/Ач; $\eta = 96$ %; $D_{\text{к}} = 30$ А/дм²; $\gamma = 7,1$ г/см³; $n_{\text{бр}} = 3$; $S_{\text{бр}} = 450$ мм²; $S_{\text{д}} = 7500$ мм²; $r = 120$ мкм; $HB = 60$ кг/мм²; $E = 8000$ кг/мм²; $\Delta = 0,15$; $\mu = 0,27$): $K_{\text{а}} = 82,5$ мин⁻¹; $n_1 = 27,5$ мин⁻¹; $P_{\text{бр}} = 87$ Па; $h = 0,014$ мкм; $V_{\text{ф}} = 8181 \cdot 10^{-6}$ мм/мин.

Таким образом, пассивация лимитирует предельную катодную плотность тока, при которой можно получить качественные покрытия, то есть препятствует росту скорости процесса осаждения. Следовательно, необходимо обеспечить механическую активацию катода на протяжении всего процесса осаждения. Это существенно облегчит образование кристаллических зародышей покрытия, позволит увеличить предельное значение катодной плотности тока, предотвратит образование дендритов и, в конечном итоге, будет способствовать повышению производительности процесса электролиза.

Выводы

1. Характер и скорость растворения чугунов в электролитах зависит от структуры металлической основы, формы графитовых включений, концентрации сульфат-ионов в прианодном слое и степени запассивированности анодной поверхности.

2. Анодная обработка серого чугуна в серноокислом электролите цинкования происходит под воздействием конкурирующих между собой процессов образования оксидной пленки и её электрохимического растворения анионами SO_4^{2-} .

3. Травление чугуна в серноокислом электролите цинкования происходит в направлении от активного растворения поверхности к состоянию устойчивой пассивации, с образованием сплошной пассивной пленки.

4. Пассивная пленка защищает обрабатываемую поверхность от окисления при перемещении детали по ваннам или смене электролита.

5. Для получения качественных цинковых гальванопокрытий, необходимо, чтобы обрабатываемая поверхность была протравлена до наступления состояния устойчивой пассивации и впоследствии оказалась бы покрыта сплошной пассивной мономолекулярной пленкой.

6. Сплошная пассивная мономолекулярная пленка образуется при переходе потенциала чугуна в область, соответствующую состоянию устойчивой пассивации.

7. Пассивация катода лимитирует предельную катодную плотность тока, при которой можно получить качественные покрытия, то есть препятствует повышению производительности процесса осаждения.

8. Механическая активация позволяет увеличить предельное значение катодной плотности тока, предотвращает образование дендритов и, в конечном итоге, способствует повышению производительности процесса электролиза.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа экспериментальных исследований

Одним из путей совершенствования технологического процесса цинкования в проточном электролите и повышения его надежности является проведение операции анодного травления непосредственно в сульфатном электролите осаждения цинка. Предварительные исследования показывают, что при определенных условиях анодного травления продукты реакций практически не имеют связи с протравленной поверхностью металла и легко с нее удаляются.

Поэтому, для выявления влияния технологических факторов на процесс анодного растворения чугунов необходимо провести электрохимические исследования. Сам же процесс цинкования в настоящей работе рассматривается с целью определения оптимальных режимов анодного травления и начального осаждения, обеспечивающих высокую степень сцепления покрытия с базовой поверхностью, а также высокую производительность процесса осаждения и микротвердость получаемого цинкового гальванопокрытия. А получаемые цинковые покрытия исследуются в плане влияния их толщины на вибрационные процессы в восстанавливаемых узлах.

На основе изучения состояния вопроса и теоретических предпосылок возможности проведения анодного травления в сульфатном электролите цинкования составлена программа экспериментальных исследований, которая предусматривает:

1. Исследование влияния технологических факторов на электрохимическое растворение чугунов в сульфатном электролите цинкования.

2. Разработку экспериментальной установки для электролитического нанесения цинковых покрытий в проточном серноокислом электролите.

3. Исследование влияния режимов анодного травления чугунов на прочность сцепления цинкового покрытия с ними.

4. Исследование влияния режима начального периода осаждения цинка на прочность сцепления цинкового покрытия с чугуном.

5. Исследование граничной зоны между цинковым покрытием и чугуном.

6. Определение оптимальных режимов травления и начального периода осаждения цинка с использованием метода математического планирования эксперимента.

7. Исследование влияния режимов электролиза на производительность процесса осаждения и микротвердость получаемого цинкового гальванопокрытия.

8. Исследование влияния толщины наносимого слоя цинка на вибрационные процессы в восстанавливаемом узле.

9. Проведение эксплуатационных испытаний восстановленных деталей.

10. Разработку производственных рекомендаций и определение их технико-экономической эффективности.

3.2. Экспериментальная установка

На основании задач исследования была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, состоящая из электрической и гидравлической частей, схемы которых приведены на рис. 3.1 и 3.3. Электрическая часть включает в себя цепи питания электролитической ячейки асимметричным переменным, однополупериодно выпрямленным, двухполупериодно выпрямленным током и выпрямленным током с уменьшенной пульсацией, а также цепь электроподогрева электролита.

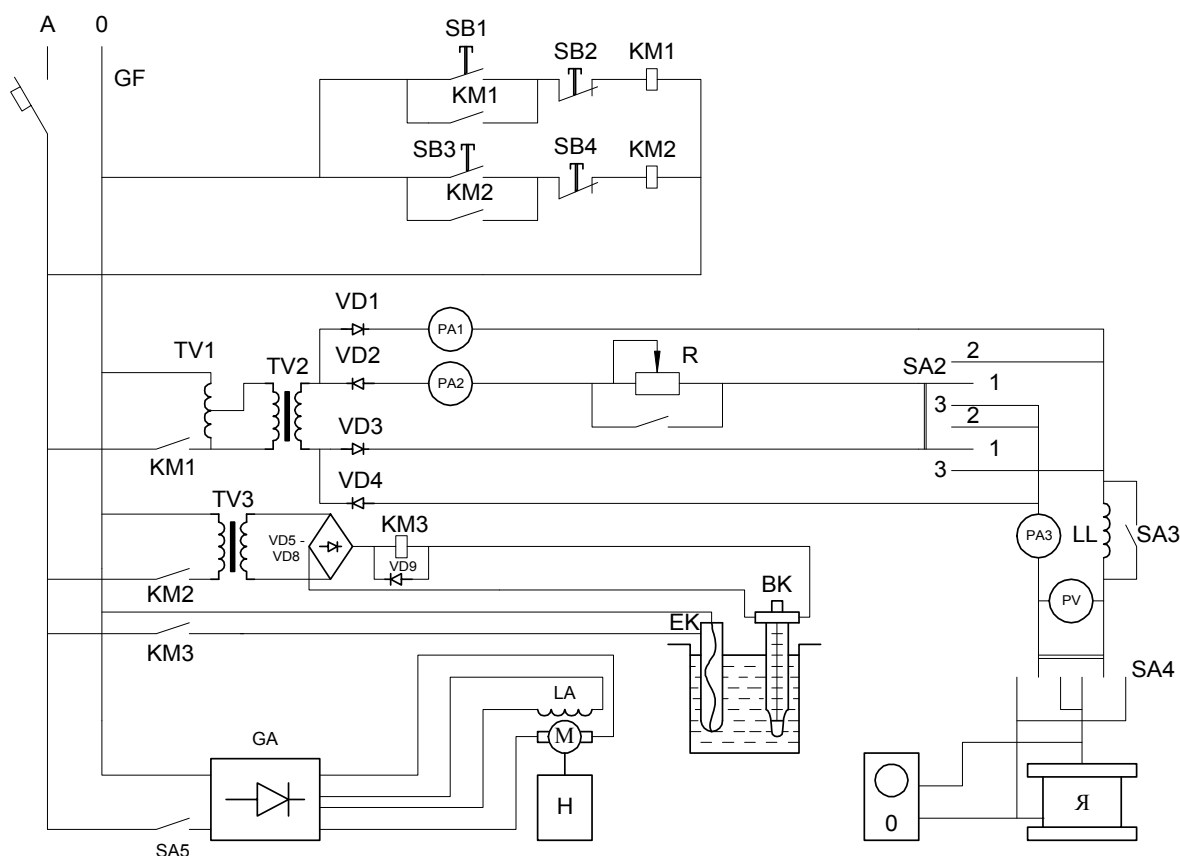


Рис. 3.1. Схема электрическая принципиальная лабораторной установки:
 Н – насос кислотостойкий; Я – ячейка электролитическая; О – осциллограф;
 ВК – термометр; ЕК – нагревательный элемент

Питание электролитической ячейки осуществляли от однофазного трансформатора РНО-250-5 (ГОСТ 11677-85), позволяющего плавно регулировать выходное напряжение понижающего трансформатора и амплитуду катодного импульса периодического тока, а также амплитуды однополупериодно и двухполупериодно выпрямленных токов. Анодный импульс периодического тока регулировали ползунковым реостатом РСР на 1,3 Ом и 6,3 А.

Разделение периодического тока на катодную и анодную составляющую осуществляли с помощью двух кремниевых вентилей ВК – 200 (VD1 и VD2) при положении переключателя SA2 в положении 2-2. Получаемая форма тока приведена на рис. 3.2 (позиция а). Однополупериодно выпрямленный ток (рис. 3.2, поз. б) получали установкой переключателя SA2 в положение 1-1, при этом происходило отключение анодной составляющей.

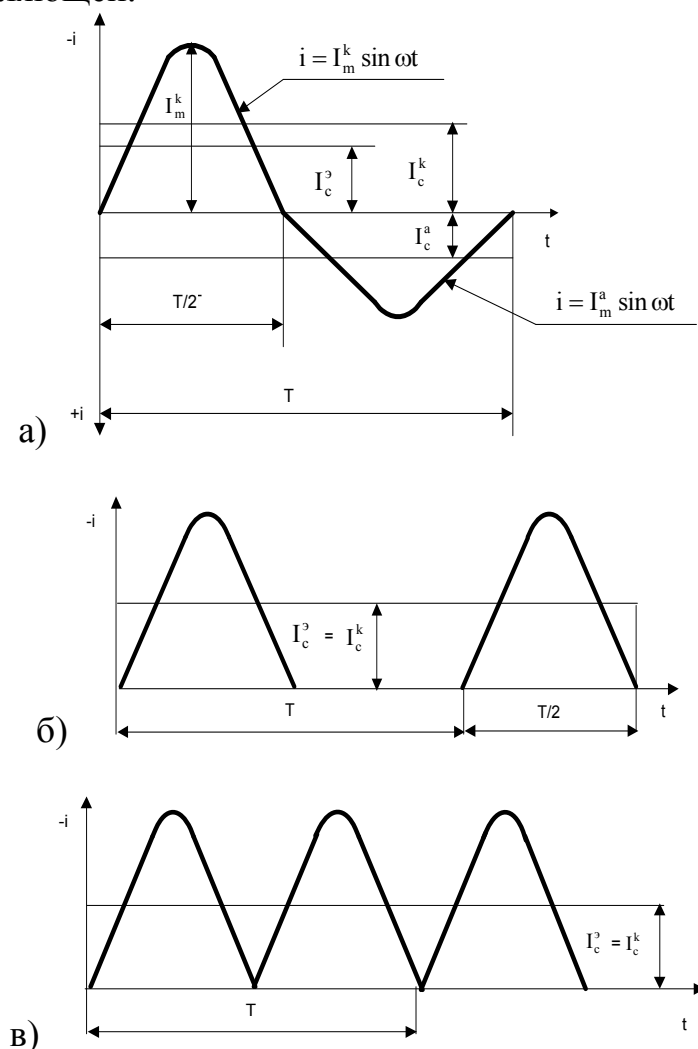


Рис. 3.2. Графики тока:
а – асимметричного несинусоидального;
б – однополупериодно выпрямленного;
в – двухполупериодно выпрямленного

Двухполупериодно выпрямленный ток получали при помощи 4-х вентилях ВК – 200 (VD1, VD2, VD3, VD4), когда переключатель SA2 находился в положении 3-3, а реостат зашунтирован (шунт SA1) (рис.3.2, поз. в). Схема позволяла переходить с одной формы тока на другую без разрыва электрической цепи.

Средние за период значения катодной и анодной составляющих, а также общий ток в цепи ячейки измерялись многопредельными магнито-электрическими амперметрами М104 (класс точности – 0,5 ГОСТ 8711-78).

Напряжение переменного тока до разделения измеряли вольтметром электромагнитной системы Э 377 (класс точности – 1,0 ГОСТ 8711-78), а после разделения и при других формах тока вольтметром магнито-электрической системы Ц 4313 (класс точности – 1,5 ГОСТ 8711-78).

Питание электролитической ячейки при анодном травлении, а в некоторых случаях и при цинковании, осуществляли постоянным током. Смену полярности напряжения производили с помощью переключателя SA4 типа 2 ППН-45. Форму тока контролировали осциллографом С1-93 (ГОСТ 9829-81).

Нагрев электролита производили стеклянным аквариумным электронагревателем общей мощностью от 80 до 240 Вт, которые помещали непосредственно в ванну с электролитом. Заданная температура электролита поддерживалась постоянной с точностью $\pm 1\text{К}$.

Схема автоматического поддержания температуры электролита включает в себя электронагреватели, контактный термометр ТПК (ГОСТ 9871-75) – датчик температуры, понижающий трансформатор 220/12 В, выпрямитель, состоящий из 4 диодов Д 226 Б.

При повышении температуры электролита выше заданной ванну цинкования охлаждали с помощью вентилятора ВО–1 (ГОСТ 5976-90) мощностью 35 Вт, в результате чего температура стабилизировалась.

Гидравлическая схема установки (рис. 3.3) включает в себя кислотостойкий насос с электроприводом, трубопроводы, фильтры, устройство для электрохимического нанесения покрытий и ванну с электролитом.

В качестве ванны использовалась пластиковая емкость объемом 10 л. Подачу электролита осуществляли с помощью насоса Н и изменяли ступенчато, посредством изменения проходного сечения подающего трубопровода при помощи сменных вставок.

Устройство для электролитического нанесения покрытий изобретено Захаровым Ю.А. и Спицыным И.А. (патент № 2155827).

Оно содержит верхний 1 и нижний 2 фланцы (рис. 3.4), в которых имеются патрубки 3 для подвода и отвода электролита.

Между фланцами 1 и 2 устанавливается обрабатываемая деталь 4 с резиновыми прокладками 5 для герметизации образуемой электролитической ячейки [136].

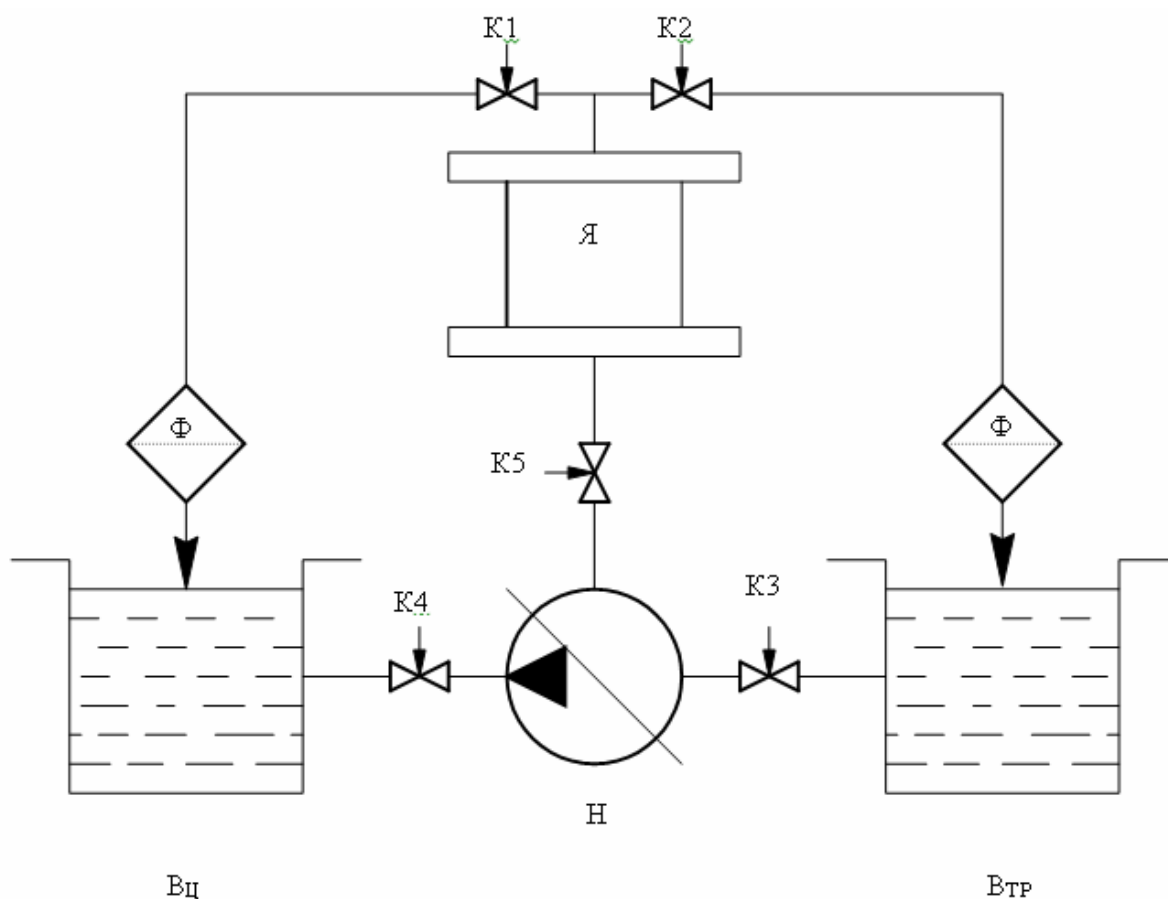
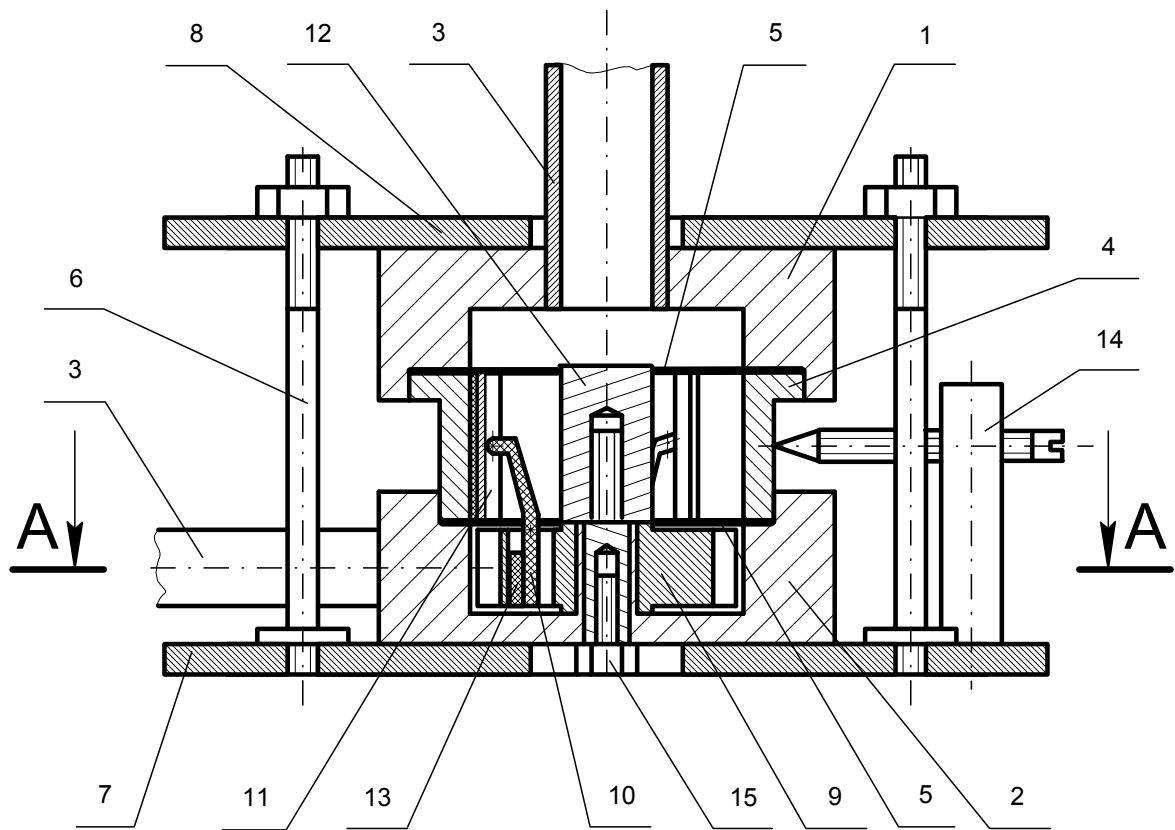


Рис. 3.3. Принципиальная гидравлическая схема лабораторной установки:
 Н – кислотостойкий насос; В_ц – ванна с электролитом цинкования;
 В_{тр} – ванна с электролитом травления; Я – электрохимическая ячейка;
 Ф – фильтр; К1, К2, К3, К4, К5 – вентили регулирующие

Полученная герметичная электролитическая ячейка стягивается вертикальными стяжками 6 между станиной 7 и прижимной пластиной 8. В нижнем фланце 2 на вертикальной оси установлена активирующая головка, состоящая из крыльчатки 9, несущей на себе три рычага 10, с подвижно закрепленными на них активирующими элементами 11.

Осевое перемещение крыльчатки 9 ограничивается съемным неподвижным анодом 12. Прижатие активирующих элементов 11 к обрабатываемой поверхности обеспечивается за счет эластичных амортизаторов 13, расположенных в прямоугольных пазах крыльчатки 9 и воздействующих на нижнее плечо рычагов 10.

Токоподвод к детали 4 осуществляется посредством контактного устройства 14, закрепленного на станине 7, а к аноду 12 – через контактную клемму 15 от источника постоянного тока (не показан). Циркуляция электролита обеспечивается кислотостойким гидравлическим насосом (не показан).



A - A

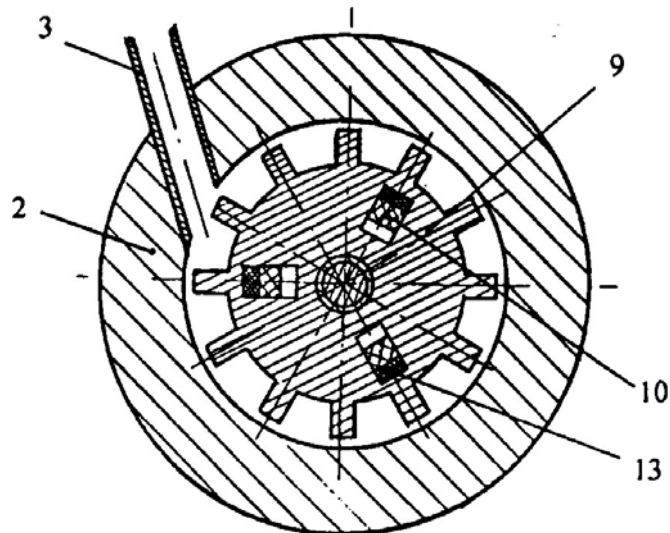


Рис. 3.4 Схема устройства для электролитического нанесения покрытий:
 1 – фланец верхний; 2 – фланец нижний; 3 – патрубки; 4 – деталь; 5 – прокладки;
 6 – стяжки вертикальные; 7 – станина; 8 – пластина прижимная; 9 – крыльчатка;
 10 – рычаги; 11 – элементы активизирующие; 12 – анод; 13 – амортизатор;
 14 – устройство контактное; 15 – клемма контактная

Устройство работает следующим образом. После соответствующей обработки деталь 4 (рис. 3.4) (т.е. механической обработки, обезжиривания и травления) через прокладки 5 устанавливается между верхним 1 и нижним 2 фланцами и образует герметичную электролитическую ячейку, что позволяет повысить скорость циркуляции электролита по сравнению с аналогичными устройствами. Затем герметичная электролитическая ячейка стягивается вертикальными стяжками 6 между станиной 7 и прижимной пластиной 8.

Далее, кислотостойкий гидравлический насос подает электролит из емкости (не показана), по трубопроводам, в нижний фланец 2 электролитической ячейки и, заполнив ее, через отводящий патрубок 3, по трубопроводам, возвращается обратно в емкость. Струя электролита, подаваемого на лопасти крыльчатки 9 под давлением не менее 0,05 МПа, отдает ей свою гидродинамическую энергию и заставляет вращаться, приводя в движение подвижно закрепленные на концах рычагов 10 активирующие элементы 11. Активирующие элементы 11 за счет своего подвижного крепления точно копируют обрабатываемую поверхность детали 4, производя активацию, снимая пассивирующую пленку и обновляя прикатодный слой электролита [136].

В то же время от источника постоянного тока, «+» и «-» рабочего тока, подаются, соответственно, на контакт 15 и контактное устройство 14. Далее происходит процесс обычного электролитического осаждения в проточном электролите с активацией катодной поверхности. По окончании технологического цикла гальванообработки выключаются источник постоянного тока и кислотостойкий гидравлический насос, разбирается герметичная электролитическая ячейка, готовая деталь (с заданной толщиной покрытия) убирается, а на ее место ставится новая деталь и процесс повторяется.

В отличие от существующих устройств предлагаемое устройство позволяет увеличить скорость циркуляции электролита в электролитической ячейке, активировать обрабатываемую поверхность без применения дополнительных электроприводов, повысить точность копирования обрабатываемой поверхности активирующими элементами, снизить энергоемкости устройства, использовать более высокие плотности тока. Это достигается за счет герметичного исполнения электролитической ячейки, подвижного крепления активирующих элементов на рычагах активирующей головки, которая выполнена в виде крыльчатки, с возможностью вращения, за счет передачи гидродинамической энергии струи электролита её лопастям.

Травление образцов и нанесение на них покрытий проводили непосредственно в электролитической ячейке (рис. 3.4). Фланцы 1, 2 и крыльчатка 9 изготовлены из органического стекла.

Общие вид установки, устройства для электролитического нанесения покрытия и активирующей головки представлены на рисунках 3.5, 3.6, 3.7 и 3.8.

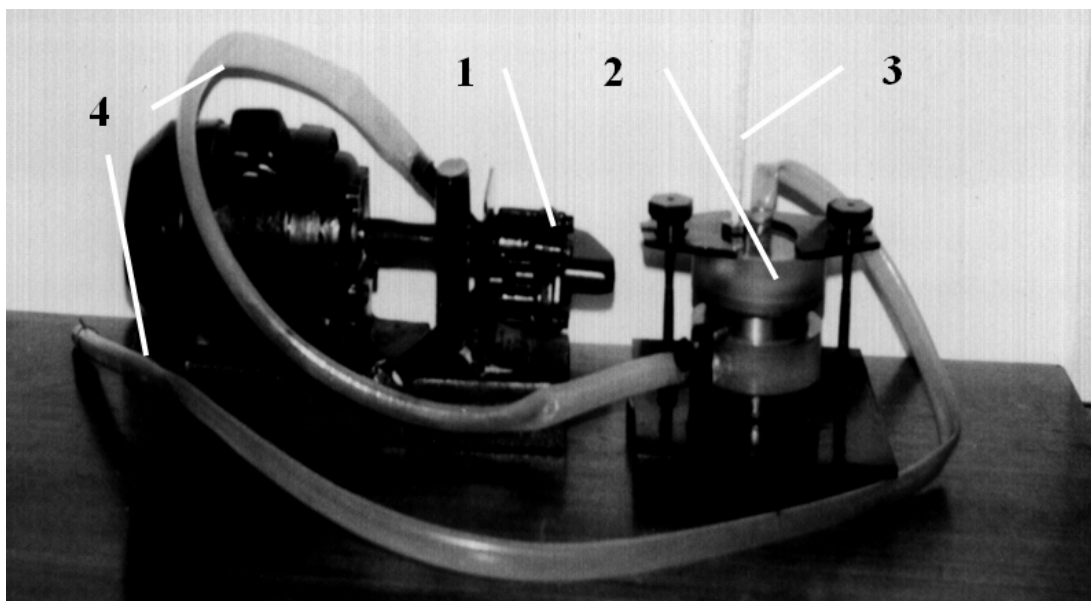


Рис. 3.5. Общий вид установки для гальванического нанесения покрытий:
1 – гидравлический насос с электроприводом; 2 – электролитическая ячейка;
3 – термометр; 4 – трубопроводы

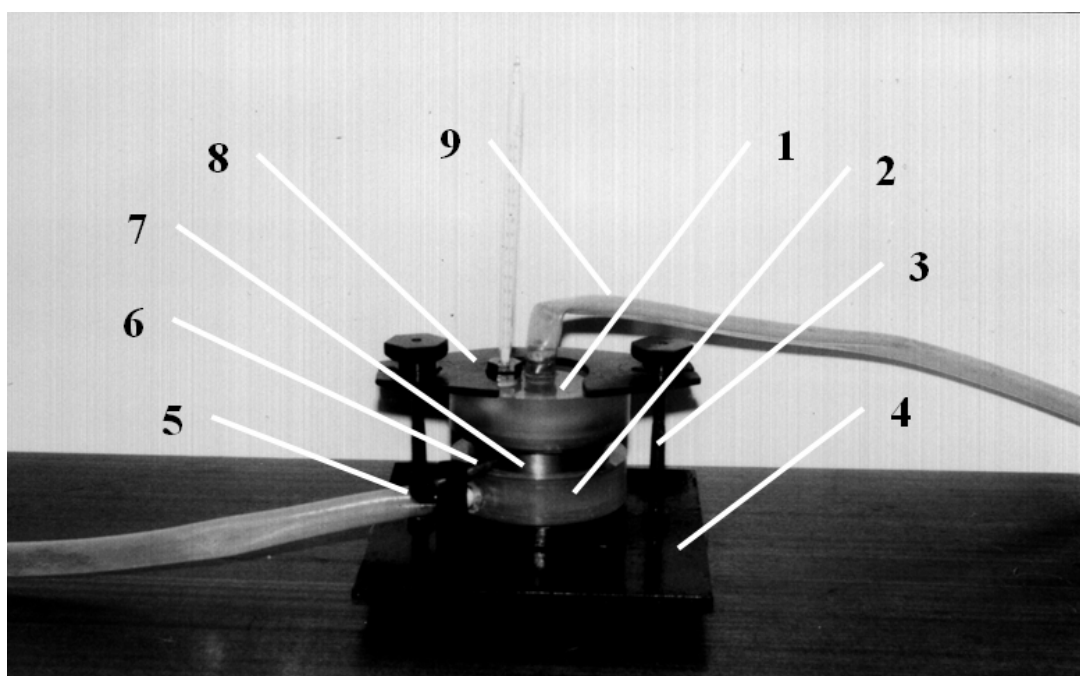


Рис. 3.6. Общий вид устройства для гальванического нанесения покрытий:
1 – верхний фланец; 2 – нижний фланец; 3 – стяжки вертикальные; 4 – опорная
пластина; 5 – подводный трубопровод; 6 – токоподводящее устройство; 7 –
деталь-образец; 8 – прижимная пластина; 9 – сливной трубопровод

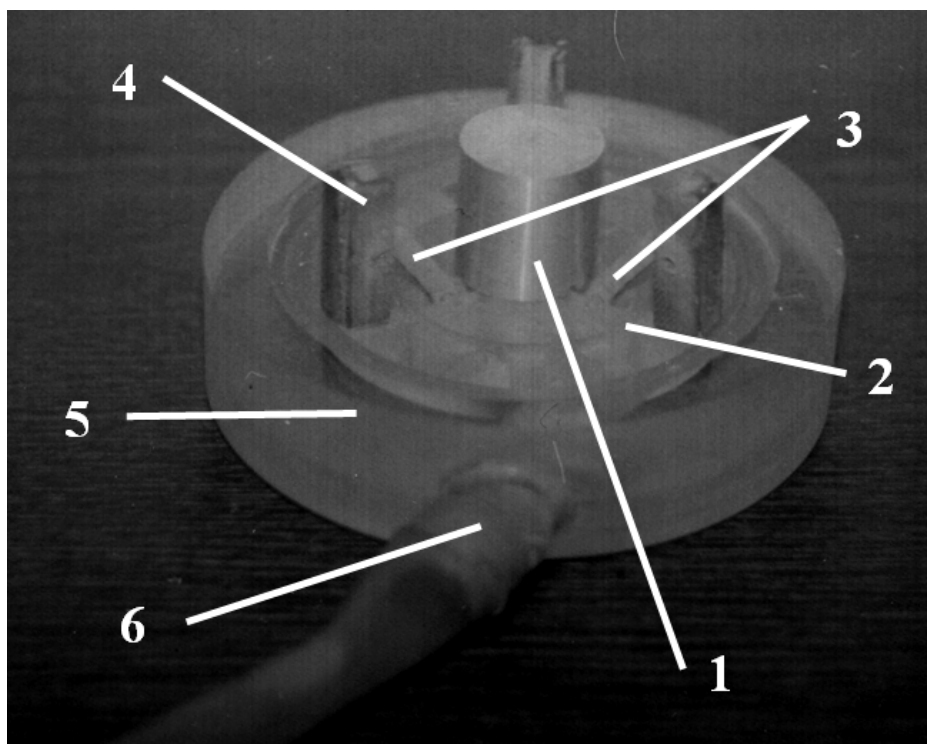


Рис. 3.7. Расположение активирующей головки в нижнем фланце электрохимической ячейки:
 1 – анод; 2 – крыльчатка; 3 – рычаги; 4 – активирующие элементы;
 5 – нижний фланец; 6 – трубопровод

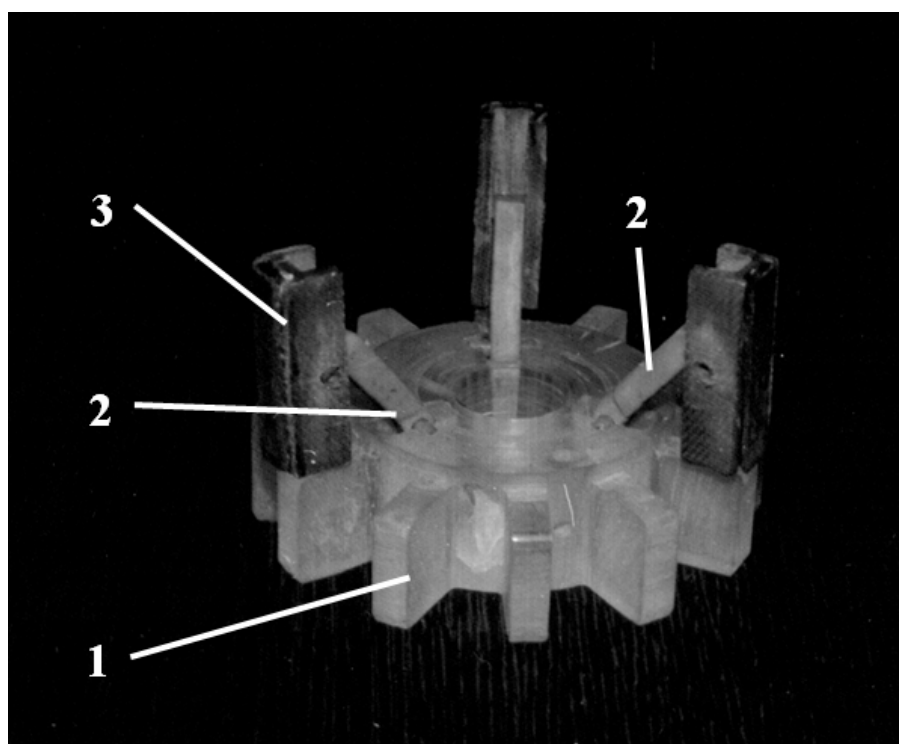


Рис. 3.8 Активирующая головка:
 1 – крыльчатка; 2 – рычаги; 3 – активирующие элементы

В процессе электролиза электролит постоянно фильтровали фильтром (рис. 3.9), фильтровальный материал – стекловолокно.

Конструкция фильтра выполнена таким образом, чтобы при необходимости можно было быстро его демонтировать разобрать и промыть, с очищением или заменой фильтрующего материала.

Выбор фильтрующего материала был обусловлен доступностью, качеством и скоростью фильтрации, а также экономическими соображениями по принципу – «необходимо и достаточно».

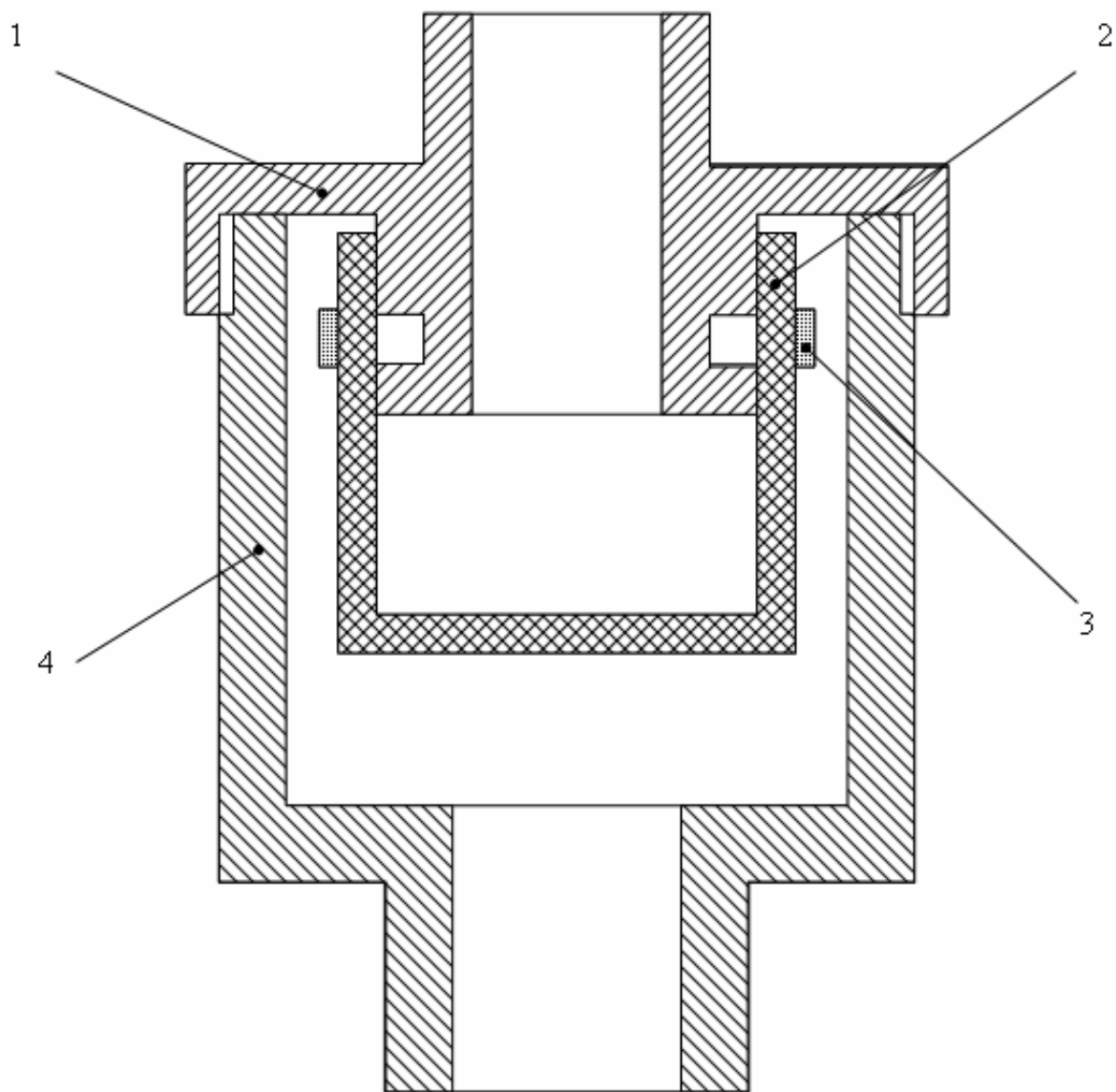


Рис. 3.9 Схема фильтра:
1 – крышка; 2 – ткань фильтровальная;
3 – кольцо резиновое; 4 – корпус

3.3. Методика электрохимических исследований

Для определения степени влияния технологических факторов на процесс анодного травления чугунов в сернокислом электролите цинкования и определения закономерностей, лежащих в основе данного процесса, проводили электрохимические исследования.

Они заключались в получении поляризационных кривых в потенциостатическом, гальваностатическом и потенциодинамическом режимах. Последний является одним из основных методов исследования анодного поведения металлов, а получаемые кривые наиболее полно отражают природу протекающих процессов.

Исследования проводили на установке, схема и общий вид которой приведены на рис. 3.10 и рис. 3.11. Поляризацию осуществляли от потенциостата П-5827М. Запись поляризационных кривых производили самопишущим потенциометром ПДП4-002 (ГОСТ 9245-79). Электродом сравнения служил насыщенный хлорсеребряный электрод ЭВЛ-1М (ГОСТ 17792-72). В качестве вспомогательного электрода использовали образец из стали 10, так как обычно используемые для подобных исследований платиновые электроды быстро покрываются цинком и переходят в «цинковые».

Исследования проводили при развертке потенциала 2,4 В/мин (40 мВ/с). При проведении исследований использовали электрохимическую ячейку ЯМЭ-2 и вращающийся электрод, использование которого в поляризационных измерениях позволяет выявить концентрационные ограничения при исследовании кинетики электродных процессов, происходящих в проточном электролите.

Образцы диаметром 5 мм (рис. 3.12) изготавливали из серого СЧ 18 (ГОСТ 1412-85) чугуна и запрессовывали в разогретый экран из фторопласта (ГОСТ 25428-82). Перед снятием поляризационных кривых образец зачищали шлифовальной шкуркой зернистостью М40, М20, М10, обезжиривали венской известью, промывали водой, сушили и помещали в ячейку.

После этого выдерживали образец в исследуемом растворе в течение 120-180 с – для выравнивания температуры его и раствора.

Поляризационные кривые снимали при различной частоте вращения электрода (200, 500, 800, 1100, 1400 об/мин), кислотности электролита (3,5; 4; 4,5 рН), концентрации сернокислого цинка в электролите (300, 400, 500, 600, 700 г/л) и температуре электролита (293, 303, 313, 323, 333 К).

Температуру электролита поддерживали на заданном уровне термостатом У-8 (28923-91) с точностью 0,5 К и контролировали термометром, который устанавливали в ячейке вблизи исследуемого образца.

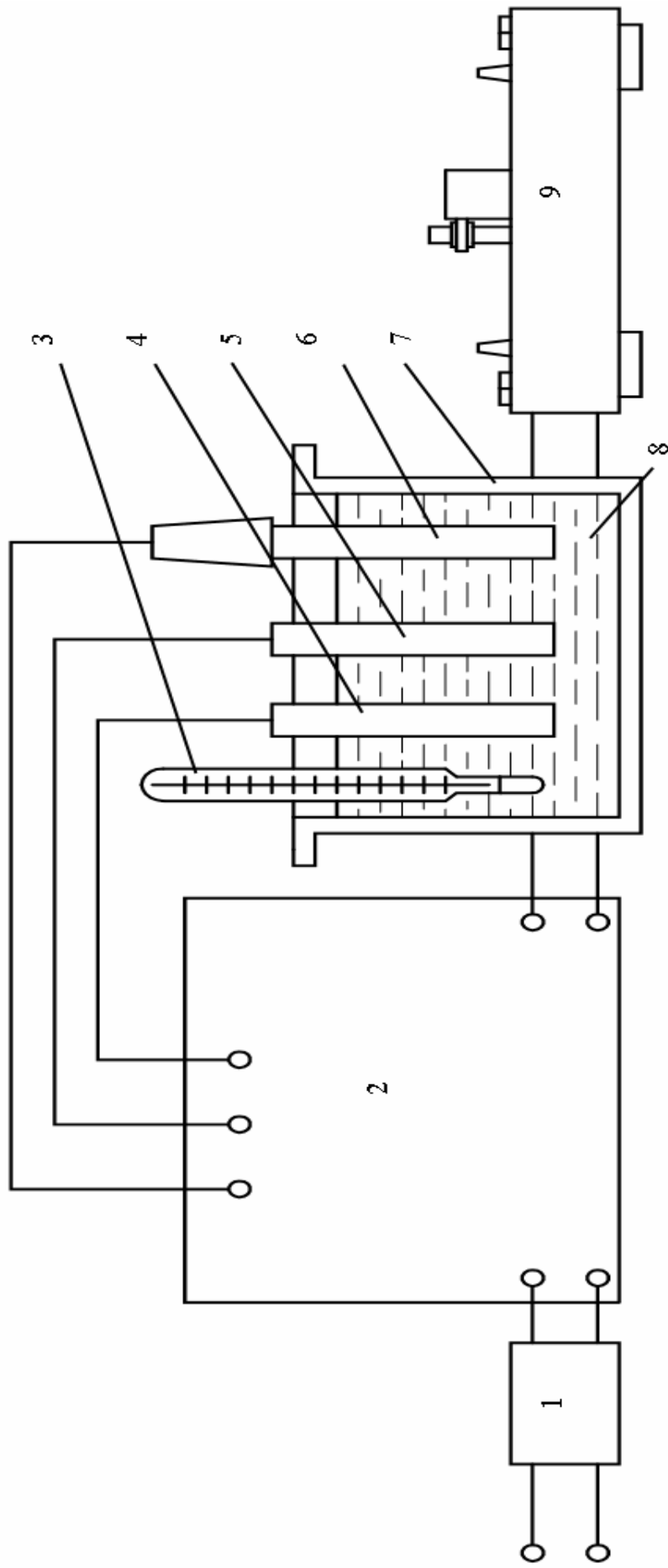


Рис. 3.10. Схема экспериментальной установки для исследования анодного травления чугуновых образцов:
 1 – стабилизатор; 2 – потенциостат П-5827 М; 3 – термометр; 4 – электрод вспомогательный (сталь 10);
 5 – электрод сравнения хлорсеребряный ЭВЛ-1М; 6 – электрод сравнения ЯМЭ – 2; 7 – ячейка
 электрохимическая термостатируемая ПДП4-002
 8 – потенциометр самопишущий ПДП4-002
 9 – электрод исследуемый;

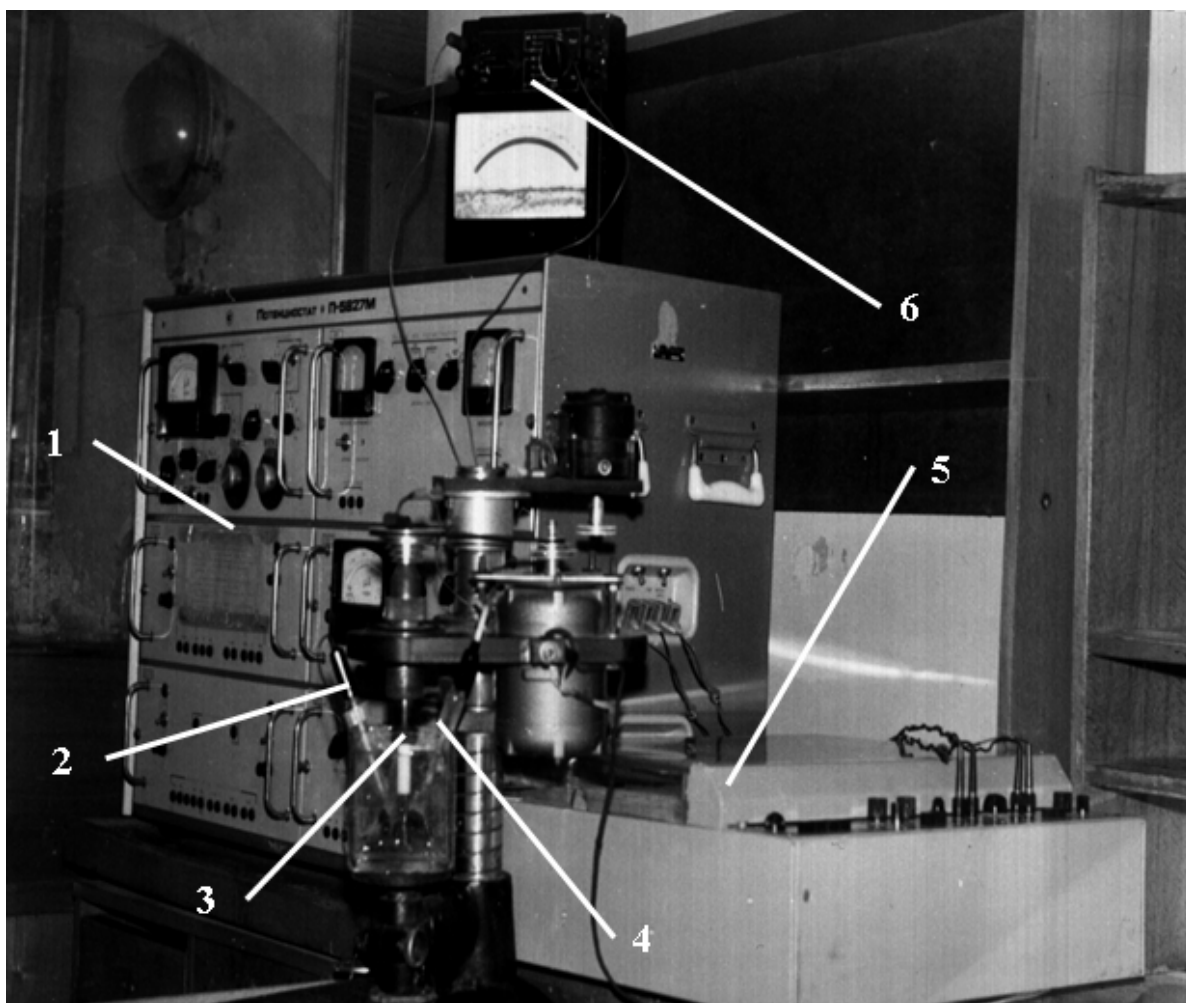


Рис 3.11. Общий вид экспериментальной установки для электрохимического исследования анодного травления образцов из серого чугуна СЧ 18:
1 – потенциостат П-5827 М; 2 – электрод хлорсеребряный ЭВЛ – 1М;
3 – электрод вращающийся с ячейкой электрохимической ЯМЭ – 2;
4 – электрод сравнения; 5 – потенциометр самопишущий ПДП4-002;
6 – миллиамперметр

Для исследования влияния механической активации катодной поверхности на рост плотности тока проводили катодные электрохимические исследования в виде получения катодных потенциодинамических кривых.

Исследования проводили на той же установке и при тех же условиях, что и анодные.

Отличие заключалось в том, что для активации электрода в электролитическую ячейку вводили рычаг с абразивным материалом, который оказывал активирующее воздействие на исследуемую поверхность. Испытуемый электрод выступал уже в роли катода.

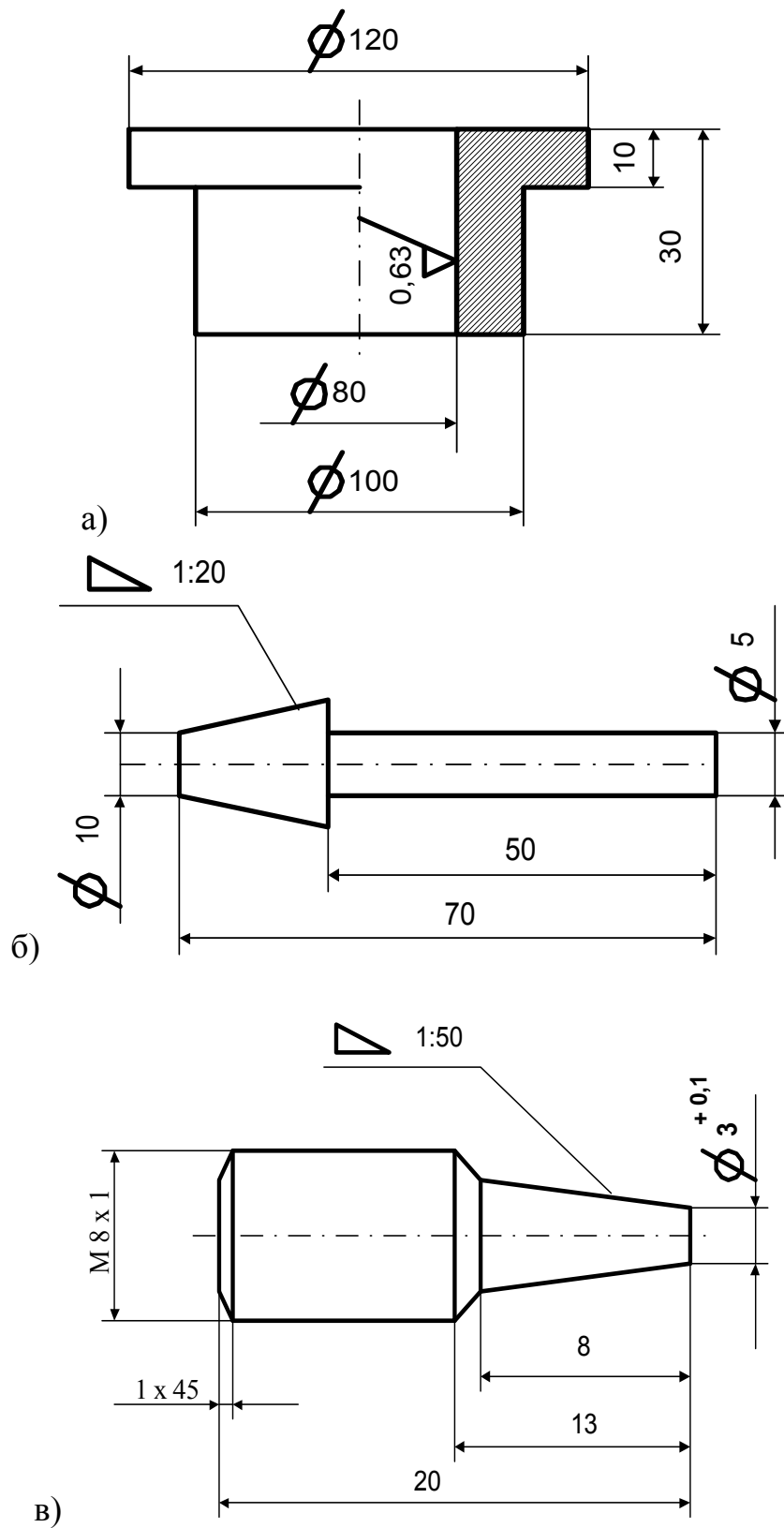


Рис. 3.12. Эскизы образцов:
 а) для цинкования в проточном электролите;
 б) для электрохимических исследований;
 в) для определения прочности сцепления

3.4. Выбор, приготовление, контроль и корректировка электролита

Для нанесения цинковых гальванических покрытий используются различные типы электролитов: кислые – сульфатные, хлоридные, фтороборатные, сульфаматные; слабокислые – в основном хлорамонийные и хлоридные; щелочные – цианидные, цинкатные, пирофосфатные, глициновые, аминокислотные, а также их комбинации [137, 138].

По разным причинам в практике гальванотехники широкое распространение получили лишь несколько видов электролитов: щелочные – цианидные и цинкатные, кислые – сульфатные, а также слабокислые – хлоридные и хлорамонийные [105-107].

Литературные данные о масштабах практического применения той или иной технологии цинкования носят приближенный характер и относятся, главным образом, к зарубежным странам, прежде всего к Германии и США. К середине 80-х годов 45-50 % применявшихся электролитов составляли цианидные, 20-25 % – цинкатные; на долю остальных типов электролитов приходилось менее 5-10 % [139 – 143].

Таким образом, ни одна из технологий не имеет подавляющего преимущества и не вытесняет другие полностью. И это естественно, так как ни один из электролитов не удовлетворяет полностью всему комплексу требований, предъявляемых к качеству и свойствам покрытий, производительности ванн, экономичности, экологическим и санитарно-гигиеническим показателям.

Подбор лучшего состава электролитов для гальванического цинкования – весьма сложная задача, поскольку электроосаждение представляет собой многофакторный процесс, для полной характеристики которого используют обычно свыше двух десятков различных показателей.

На основе экспертных оценок были отобраны основные показатели, характеризующие качество покрытия (коррозионная стойкость, прочность сцепления с основой, равномерность распределения по толщине, декоративные свойства, пластичность, хроматируемость, паяемость); технологические характеристики процесса (производительность, интервал рабочих плотностей тока, температура и т.п.); экологическая безопасность и экономичность технологии [139].

В группу наиболее важных показателей были включены – коррозионная стойкость, прочность сцепления с основой, экологическая безопасность технологии, равномерность распределения покрытия по толщине, стабильность и простота эксплуатации электролита [139].

Проанализировав существующие электролиты цинкования, по предлагаемым показателям, авторы [106, 107, 139 – 143] пришли к выводу о том, что по ряду показателей – скорости осаждения, интервалу рабочих токов и температур, степени наводораживания, экологической безопас-

ности лучшими являются кислые сульфатные растворы. Им следует отдать предпочтение при высокопроизводительном цинковании изделий простой формы и невысоких требованиях к внешнему виду покрытия.

Различают четыре типа кислых электролитов, значительно отличающиеся по составу, технологическим характеристикам и свойствам получаемых покрытий: сильнокислые – $\text{pH}=1$; кислые – $\text{pH}=3,5-4,5$; слабокислые и нейтральные – $\text{pH} = 4,5-6,3$; борфтористоводородные – $\text{pH} = 3-4$ [107]. Основным компонентом этих электролитов является сульфат цинка. В зависимости от степени сложности профиля покрываемой детали и требуемой производительности концентрация соли цинка может быть от 20-30 до 700-800 г/л. Высокотонцирированные электролиты (300 г/л ZnSO_4 и более) применяют на высокопроизводительных линиях.

В качестве буферирующих добавок в этих электролитах применяют соли алюминия, магния (сульфаты, хлориды), аммония, уксуснокислый натрий. Положительное влияние этих добавок на структуру покрытий связано с их способностью регулировать pH приэлектродного слоя электролита путем образования в нем гидроксидов, благоприятно влияющих на структуру покрытия. В присутствии этих добавок получают более светлые и гладкие осадки. Особенно важно присутствие этих добавок в электролитах, применяемых для высокоинтенсивного электролиза ($i_k=50 \text{ А/дм}^2$ и более), когда из-за резкого увеличения количества разряжающихся ионов водорода на единицу объема приэлектродного слоя pH последнего быстро повышается. В этих условиях влияние буферирующих добавок на качество цинкового покрытия проявляется особенно заметно. Если в электролите по каким-либо причинам содержание солей алюминия или магния уменьшилось ниже 10 г/л, то осадки получаются темные, губчатые, плохо освещаются и пассивируются. Добавление этих солей в электролит цинкования немедленно приводит к заметному улучшению качества осадка.

Из сказанного следует, что большое влияние на характеристики процесса цинкования оказывает кислотность электролита. Чем выше его pH , тем более высокую плотность тока можно применять при цинковании. Однако при этом следует учитывать, что с увеличением концентрации кислоты уменьшается выход по току цинка, увеличивается скорость химического растворения цинковых анодов, особенно если электролит загрязнен солями металлов, более электроположительных, чем цинк (Co, Ni, Cd, и т.д.).

Таким образом, применение сильнокислых электролитов цинкования подразумевает использование нерастворимых анодов (обычно свинцовые), что ведёт к необходимости непрерывной или периодической корректировки электролита по соли цинка. Поэтому в практической гальваностегии применяют кислые электролиты цинкования с $\text{pH}=4-5$ [106, 107]. К сернокислому электролиту цинкования также добавляют соли других, не выделяющихся на катоде, металлов, например, сульфаты или хлориды

натрия и аммония, главным образом, для увеличения электропроводности растворов [106]. При этом повышается катодная поляризация, что способствует улучшению распределения металла по поверхности катода. Присутствие ионов Cl^{-1} в сернокислом электролите, по данным [106, 107], снижает катодную поляризацию при электроосаждении цинка.

Для повышения рассеивающей способности кислых электролитов к ним добавляют органические вещества такие, как декстрин, лакрица, глюкоза, желатин, меласса, β -нафтол, технический крезол, сульфированные крезолы, фенолы, антрагидрохинон, бисульфит натрия, глицерин [106, 107]. Однако при цинковании с высокими плотностями тока органические вещества к электролиту не добавляют [106].

Вредными примесями в кислых электролитах цинкования являются соли более электроположительных, чем цинк, металлов, например, соли меди (0,01 г/л), мышьяка (0,001-0,005 г/л), сурьмы (0,001-0,01 г/л), свинца, все соли азотной кислоты и некоторые органические вещества (скипидар, ацетон, клей) и другие. В присутствии малых количеств (доли грамма на литр) электроположительных металлов в кислом электролите цинкования на катоде образуются губчатые осадки, вследствие выделения этих металлов на предельном токе диффузии их ионов [106, 107, 144].

При отсутствии в кислом электролите цинкования хлоридов и декстрина свинец не влияет на качество осадков цинка вследствие малой растворимости сульфата свинца, которая в нейтральной водной среде составляет примерно 0,01 г/л (считая на металл) [144].

Олово при концентрации до 0,3 г/л не оказывает влияния на внешний вид цинкового покрытия. С увеличением содержания олова до 1 г/л при плотности тока около 100 А/м² катодные осадки цинка становятся темными, рыхлыми, что объясняется восстановлением ионов олова на предельном токе их диффузии. Железо оказывает большое влияние на качество осадков цинка в электролитах с органическими добавками [144].

Учитывая вышеизложенное, а также простоту формы обрабатываемых поверхностей предлагается использовать высококонцентрированный сернокислый электролит цинкования следующего состава:

сернокислый цинк $ZnSO_4$, г/л400-700;

сернокислый алюминий или

алюмокалиевые квасцы, г/л30-50;

сернокислый натрий, г/л.....50-100.

Концентрацию солей в электролите определяли химическим путем. Количество сернокислого цинка определяли объемным методом с применением трилона Б в фильтрате после отделения железа и алюминия. Фильтрат титровали 0,1 н. раствором трилона Б до перехода окраски в синий цвет, затем по формуле определяли количество цинка в растворе и для перевода на сернокислый цинк умножали полученное число на коэффициент 4,39 [144].

Алюминий и железо определяли также объемным методом с применением трилона Б. Из осадка гидроокисей железа и алюминия, оставшегося от определения цинка готовили раствор, переводили железо в трёхвалентное и титровали трилоном Б до исчезновения лиловой окраски сульфацилата железа. После титрования железа определяли алюминий в растворе титрованием избытка трилона Б 0,1 н. раствором хлорного железа до появления желто-кирпичной окраски. Затем по соответствующим формулам определяли количество в растворе железа и алюминия [144].

Количество сернокислого натрия подсчитывали по разности после определения в электролите общего содержания SO_4 , связанного с алюминием, цинком и натрием [144].

Медь в электролите определяли согласно методике, описанной в [144]. Для удаления примесей электроположительных металлов предварительно подкисленный электролит прорабатывали постоянным током при низкой плотности тока ($0,5-2 \text{ А/дм}^2$). Для удаления вредных органических примесей применяли в зависимости от природы этих примесей проработку постоянным током со свинцовыми анодами, обработку перекисью марганца, активированным углем и т.п.

Соли железа удаляли в виде гидроокиси $Fe(OH)_3$ после нейтрализации раствора бикарбонатом натрия и добавления перекиси водорода при нагревании до $70-100^\circ\text{C}$. После отстаивания осадка $Fe(OH)_3$ раствор фильтровали.

Кислотность электролита определяли лабораторным рН-метром рН – 340. Проверку и настройку прибора проводили по стандартным буферным растворам с рН=1,68; рН=4,02; рН=6,82 по ГОСТ 10171-85. Постоянная кислотность поддерживалась периодическим добавлением в электролит подкисленной дистиллированной воды.

3.5. Методика определения прочности сцепления цинкового покрытия с чугуном

Различают качественные и количественные методы определения прочности сцепления покрытия с основным металлом [134, 145].

В условиях ремонтного производства находят распространение качественные методы испытаний, которые не связаны с изготовлением специальных образцов и не требуют сложного оборудования. Так, на первом этапе исследований прочность сцепления цинка с чугуном мы определяли нанесением сетки царапин, ударов, а также эксцентричной обработкой на токарном станке до основного металла.

Количественные методы определения прочности сцепления основаны на измерении силы, которую необходимо приложить на единицу поверхности, чтобы оторвать покрытие от основного металла [134]. Прочность

сцепления выражают частным от деления отрывающей силы на площадь поверхности сцепления. Эти методы измерения по сравнению с качественными имеют преимущества, так как дают абсолютные величины. Возможные методы количественного определения прочности сцепления хорошо освещены в литературе [134, 145]. Для наших исследований наиболее приемлемым является метод отрыва штифтов, позволяющий определять сцепление гальванопокрытия с основой с достаточной степенью точности.

Штифты с усеченным конусом 1:50 (рис.3.12, поз. в) и кольца изготавливали из серого СЧ 18 чугуна. Отверстия в кольце под штифты развертывали конической разверткой конусностью 1:50. Штифты тщательно притирали в отверстиях кольца с помощью алмазной пасты, чтобы избежать попадания электролита в это сопряжение, что позволяет повысить воспроизводимость результатов. Притертые штифты и отверстия обезжировали, промывали водой и сушили. После этого штифты устанавливали в отверстия и закрепляли при помощи винтов и пластин (рис.3.13).

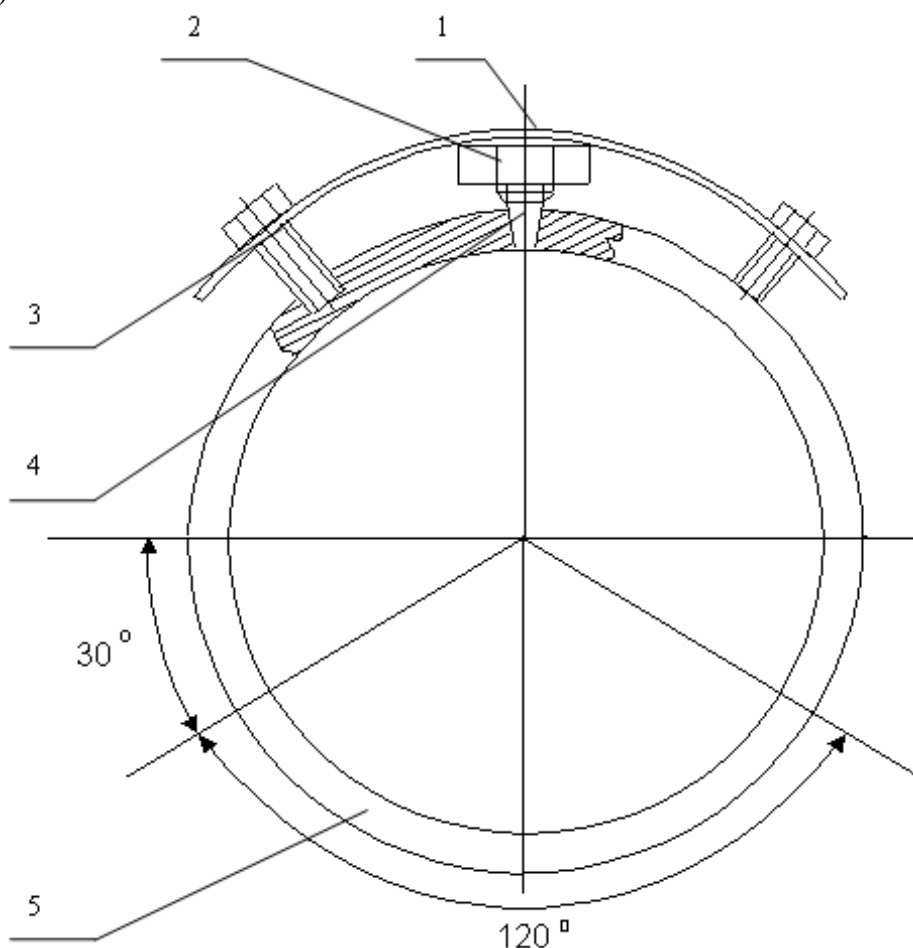


Рис. 3.13. Кольцо с коническими штифтами для определения прочности сцепления:
1 – пластина; 2 – гайка М8 × 1; 3 – винт М5; 4 – штифт; 5 – кольцо

В таком виде кольцо растачивали на токарном станке и шлифовали шкуркой до $R_a = 0,32 \dots 0,63$ мкм. Подготовленные образцы обезжиривали венской известью, промывали в проточной воде и устанавливали в ячейку. Затем подвергали анодной обработке и осаждали покрытия. Покрытия толщиной более 1 мм наносили в 2–3 приема. Повторность опытов двукратная при одновременном отрыве 3-х штифтов.

По завершении нанесения покрытия проводили отрыв штифтов с измерением усилия отрыва. Отрыв штифтов осуществляли на силовой машине УММ–5 с установкой вспомогательного динамометра Д–002. После отрыва диаметр торца штифта измеряли микроскопом с точностью 0,1 мм. Прочность сцепления определяли по формуле

$$F_{\text{сц}} = 4P/\Pi d^2, \quad (3.1)$$

где P – усилие отрыва штифта, Н; d – диаметр штифта, м.

3.6. Методика сравнительных исследований виброгасящих свойств цинкового покрытия и чугуна СЧ 18

Наиболее опасными из всех механических воздействий для технических объектов при их динамическом нагружении являются вибрационные воздействия. Знакопеременные напряжения, вызванные вибрационными воздействиями, приводят к накоплению повреждений в материале, что способствует появлению усталостных трещин и разрушению [146].

Кроме усталостных разрушений в механических системах наблюдаются и другие явления, вызываемые вибрационными воздействиями [146]. Например, эти воздействия приводят к постепенному ослаблению («разбалтыванию») неподвижных соединений. Вибрационные воздействия вызывают малые относительные смещения сопряженных поверхностей в соединениях деталей машин, при этом происходит изменение структуры поверхностных слоев сопрягаемых деталей, их износ и, как результат, уменьшение силы трения в соединении, что вызывает изменение диссипативных свойств объекта, смещает его собственные частоты и т.п. Если в объекте имеются подвижные соединения с зазорами, то вибрационные воздействия могут вызвать соударения сопрягаемых поверхностей, приводящие к их разрушению.

Вибрация влияет не только на технические объекты, но и на людей, находящихся вблизи источника вибрации или непосредственно в контакте с ним. Длительное воздействие вибрации нарушает нормальное состояние человека, непосредственно влияет на производительность труда и качество выполняемой работы [146].

Таким образом, вибрационные воздействия могут вызывать как разрушения, так и отказ машин, приборов и аппаратов, а также снижать

трудоспособность человека. Следовательно, для продления сроков службы восстанавливаемых узлов и агрегатов необходимо использовать материалы и технологии, позволяющие максимально снизить вредное воздействие вибрационных процессов.

Для выявления и сравнения виброгасящих свойств цинковых покрытий и чугуна СЧ 18 проводили исследования, которые заключались в получении осциллограмм, характеризующих величину виброускорения.

Экспериментальная установка для этих исследований содержит электропривод, модель коробки передач со сменными обоями под опорные подшипники в виде колец с внутренним диаметром 80 мм, высотой 30 мм и толщиной стенки 10 мм из серого чугуна СЧ 18. К этим обоям присоединяли вибродатчик, который передавал информацию на осциллограф.

Для проведения исследований наносили цинк на внутреннюю поверхность чугунных обоек. Вначале снимали показания без нанесения цинкового покрытия, затем наносили слой цинка толщиной 0,1 мм и снимали показания.

После получения данных слой цинка удаляли механическим путем, наносили следующий слой покрытия толщиной 0,2 мм и снимали показания. Процесс повторяли с интервалом нанесения покрытий – 0,1 мм до достижения толщины цинкового покрытия – 0,6 мм. Показания снимали при помощи вибродатчиков типа ПДУ–2, характер вибраций и величину виброускорения определяли посредством двухлучевого осциллографа типа С1–93. Исследования проводили при частоте вращения ведущего вала 900 об/мин с двукратной повторностью при трех параллельных измерениях.

Эти исследования в полной мере позволяют судить о различии виброгасящих свойств цинкового покрытия и материала корпусных деталей – чугуна СЧ 18.

3.7. Методика исследования прочности сцепления покрытия с чугуном методом планирования факторного эксперимента

Для определения степени влияния основных технологических факторов при травлении и начальном режиме осаждения на прочность сцепления покрытия с чугуном предлагается использовать планирование эксперимента методом Бокса-Уилсона [147-149].

Этот метод позволяет получить математическую зависимость процесса, используя факторное планирование, регрессионный анализ и движение по градиенту.

В исследованиях применяли полный и дробный факторный эксперимент (ПФЭ и ДФЭ). При этом составляли дробную матрицу планирования (табл. 3.2, 3.4), сохраняющую четыре основных свойства полной матрицы:

1) симметричность относительно центра эксперимента – алгебраическая сумма элементов каждого столбца равна нулю;

2) условия нормировки – сумма квадратов элементов каждого столбца равна числу опытов;

3) ортогональность матрицы планирования – сумма почленных произведений любых двух векторов столбцов матрицы равна нулю;

4) ротатабельность – все точки матрицы должны быть подобраны так, чтобы точность предсказания значений параметра оптимизации была одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависела бы от направления.

Априорная информация показывает, что основными факторами, влияющими на прочность сцепления покрытия с серым чугуном, являются: анодная плотность тока при травлении – D_a , время выдержки при D_a – τ . Прочность сцепления при этом можно выразить формулой

$$\sigma_{\text{сц}} = f(D_a, \tau). \quad (3.2)$$

Для установления математической зависимости производительности электроосаждения и физико-механических свойств от перечисленных факторов реализовали полный факторный эксперимент ПФЭ 2^2 .

Границы варьирования факторов определяли на основании предварительных исследований. Для каждого фактора выбирали и интервалы варьирования (табл. 3.1).

Т а б л и ц а 3.1

Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни факторов		
				нижний	основной	верхний
1. Анодная плотность тока D_a	x_1	А/дм ²	10	10	20	30
2. Время выдержки при D_a τ	x_2	с	10	35	45	55

Перевод натуральных значений факторов в кодированные проводится по формуле

$$X_i = (x_i - x_{i0})/\varepsilon_i, \quad (3.3)$$

где X_i – кодированное значение i -го фактора; x_i – натуральное значение i -го фактора; x_{i0} – натуральное значение основного уровня; ε_i – интервал варьирования.

Каждый опыт проводили с двукратной повторностью при трех параллельных измерениях. Порядок проведения опытов принимали из таблицы случайных чисел (табл. 3.2).

Для ПФЭ 2^2 уравнение регрессии можно записать следующим образом:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2. \quad (3.4)$$

Т а б л и ц а 3.2

Матрица планирования ПФЭ 2^2

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_1x_2
1	+	–	–	+
2	+	+	–	–
3	+	–	+	–
4	+	+	+	+

В результате предварительных экспериментов установлено, что на прочность сцепления с чугуном также оказывает влияние режим начального периода осаждения цинка.

По имеющимся данным [12, 69, 79, 87 и др.], одним из факторов, оказывающих влияние на прочность сцепления покрытия с основой, является время выхода на рабочий режим – оно должно быть в пределах 360...480 с.

Тогда зависимость прочности сцепления от основных факторов может быть представлена выражением

$$\sigma_{\text{сц}} = f(\beta_{\text{н}}, D_{\text{кн}}, T, t, \nu, \text{pH}), \quad (3.5)$$

где $\beta_{\text{н}}$ – катодно-анодный показатель в начале электролиза; $D_{\text{кн}}$ – начальная катодная плотность тока; T – температура электролита; t – время выдержки без тока; ν – скорость движения электролита; pH – кислотность электролита.

Для установления математической зависимости прочности сцепления цинкового покрытия с серым чугуном от перечисленных факторов реализовали дробный факторный эксперимент (ДФЭ) 2^{6-3} . Границы варьирования факторов определяли на основании предварительных исследований. Для каждого фактора выбирали и интервалы варьирования (табл. 3.3).

Таблица 3.3.

Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни факторов		
				нижний	основной	верхний
1. Катодно-анодный показатель β	x_1	–	0,25	1,25	1,5	1,75
2. Начальная катодная плотность тока $D_{кн}$	x_2	А/дм ²	5	10	15	20
3. Температура электролита T	x_3	К	10	293	303	313
4. Кислотность электролита	x_6	pH	0,5	3,5	4	4,5
5. Скорость движения электролита ν	x_5	м/с	0,1	0,1	0,2	0,3
6. Время выдержки без тока t	x_4	с	10	20	30	40

1/8 реплика 2^{6-3} задается генерирующими соотношениями:

$$x_4 = x_1x_2x_3; \quad x_5 = x_1x_2; \quad x_6 = x_1x_3.$$

Имеем следующие определяющие контрасты:

$$1 = x_1x_2x_3x_4, \quad 1 = x_1x_2x_5, \quad 1 = x_1x_3x_6.$$

Обобщающий определяющий контраст:

$$1 = x_1x_2x_3x_4 = x_1x_2x_5 = x_1x_3x_6 = x_3x_4x_5 = x_2x_4x_6 = x_2x_3x_5x_6 = x_1x_4x_5x_6$$

Совместные оценки будут определяться следующим образом:

$$b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{25} + \beta_{36} + \beta_{234} + \beta_{456}; \quad b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{35} + \beta_{26} + \beta_{123} + \beta_{156};$$

$$b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{15} + \beta_{46} + \beta_{134} + \beta_{356}; \quad b_5 \rightarrow \beta_5 + \beta_{12} + \beta_{34} + \beta_{236} + \beta_{146};$$

$$b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{16} + \beta_{45} + \beta_{124} + \beta_{256}; \quad b_6 \rightarrow \beta_6 + \beta_{13} + \beta_{24} + \beta_{235} + \beta_{145}.$$

Уравнение регрессии, представляющее собой выборочную оценку функции Y отклика $\sigma_{сц}$, можно записать следующим образом:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_{23}x_2x_3. \quad (3.6)$$

Для получения уравнения регрессии, адекватно описывающего исследуемый процесс, проводили статистическую обработку результатов планирования эксперимента (табл. 3.4) [149].

Т а б л и ц а 3.4

Матрица планирования ДФЭ 2^{6-3}

Номер опыта	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₂ x ₃
1	+	+	–	–	+	–	–
2	–	+	–	+	–	+	–
3	+	–	–	+	–	–	+
4	–	–	–	–	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+	+
6	–	+	+	–	–	–	+
7	+	–	+	–	–	+	–
8	–	–	+	+	+	–	–

Для каждой строки матрицы по результатам параллельных опытов находили среднее арифметическое значение \bar{Y}_i параметра оптимизации Y .

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n Y_{iu}, \quad (3.7)$$

где u – номер параллельного опыта; n – число параллельных опытов в i -й строке матрицы; Y_{iu} – значение параметра оптимизации в u -параллельном опыте i -строки матрицы.

Построчные дисперсии рассчитывали по формуле

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (Y_{iu} - \bar{Y}_i)^2, \quad (3.8)$$

где $n = 1, 2, \dots$, – число всех точек плана, равное числу строк; $n-1 = f_u$ – число степеней свободы, которое равно числу параллельных опытов без одного.

Проверку однородности дисперсий (при одинаковом количестве опытов в каждой строке) проводили по критерию Кохрена:

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}. \quad (3.9)$$

Экспериментальное значение критерия Кохрена сравнивали с табличным, для восьми опытов и числа степеней свободы $n-1=5$, при уровне значимости $P = 0,05$.

Оценку дисперсий воспроизводимости результатов определяли соотношением:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (3.10)$$

где $N(n-1) = f_y$ – число степеней свободы, $f_y = 8(6-1) = 40$.

Коэффициенты модели рассчитывали по следующим формулам:

а) свободный член

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i, \quad (3.11)$$

б) коэффициенты регрессии, характеризующие линейные эффекты,

$$b_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i X_{ig}, \quad (3.12)$$

в) коэффициенты регрессии, характеризующие эффекты взаимодействия

$$b_{gl} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i X_{iu} X_{il}, \quad (3.13)$$

где X_{gi} и X_{li} – кодированные значения (± 1) факторов g и l в i -опыте; \bar{Y}_i – среднее значение параметра оптимизации в i -опыте.

Значимость коэффициентов регрессии определяли по t -критерию Стьюдента:

$$S_{\{b_g\}}^2 = \frac{S_y^2}{nN}, \quad (3.14)$$

$$\Delta b_g = \pm t_T \cdot S_{\{b_g\}},$$

где Δb_g – доверительный интервал.

Значение t -критерия принимается по табличным данным для уровня значимости $P = 0,95$ и числа степеней свободы $N(n - 1)$. Коэффициенты уравнения регрессии значимы, если их абсолютные значения больше доверительного интервала.

Дисперсию адекватности модели определяли по формуле

$$S_{ад}^2 = \frac{n \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_i - \hat{Y}_i)^2}{f}, \quad (3.15)$$

где \hat{Y}_i – расчетное значение отклика; f – число степеней свободы дисперсии адекватности

$$f = N - (k + 1), \quad (3.16)$$

здесь k – число факторов.

Критерий Фишера для проверки гипотезы адекватности:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}. \quad (3.17)$$

Полученное значение критерия сравнивали с табличным для числа степеней свободы числителя $f = N(k + 1)$ и знаменателя $N(n - 1)$.

3.8. Методика определения микротвердости поверхности получаемых цинковых гальванопокрытий

Для измерения микротвердости изделий и образцов из металлов, сплавов, минералов, стекол, пластмасс, полупроводников, керамики, тонких листов, фольги, пленок, гальванических, диффузионных, химически осажденных и электроосажденных покрытий государственный стандарт устанавливает два метода испытаний [150]:

- 1) по восстановленному отпечатку (основной метод);
- 2) по невосстановленному отпечатку (дополнительный метод).

Испытания по методу невосстановленного отпечатка следует применять, когда требуются дополнительные характеристики материала (упругое восстановление, релаксация, ползучесть при нормальной температуре).

Измерение микротвердости получаемого покрытия проводили методом восстановленного отпечатка по ГОСТ 9450-76 вдавливанием алмазного наконечника в виде четырехгранной пирамиды с квадратным основанием в оправе типа НПМ по ГОСТ 9377-74 на микротвердомере ПМТ-3 (ГОСТ 10717-75).

Испытание на микротвердость вдавливанием по методу восстановленного отпечатка заключается в нанесении на испытываемую поверхность изделия (образца) отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени.

После удаления нагрузки и измерения параметров полученного отпечатка число микротвердости определяли делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки в ньютонах (килограмм-силах) на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка в квадратных миллиметрах (для четырехгранной пирамиды с квадратным основанием) по формуле [150]:

$$H = \frac{m}{S} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} \cong \frac{1,854P}{d^2}, \quad (3.18)$$

где P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику, Н (кгс); S – условная площадь боковой поверхности полученного отпечатка,

мм²; d – среднее арифметическое длины обеих диагоналей квадратного отпечатка, мм²; α – угол заострений алмазного наконечника, градусы.

Перед испытанием поверхность образца очищали от загрязнений и шлифовали до достижения шероховатости не грубее $R_a=0,32$ мкм, определяемой по ГОСТ 2789-73, обезжиривали венской известью, промывали в струе холодной воды и сушили.

Затем испытание проводили в следующем порядке [150, 151, 152]:

1. Испытуемый образец устанавливали на предметном столике микротвердомера ПМТ-3 так, чтобы в процессе испытания он не смещался, не поворачивался и находился в положении перпендикулярно к оси алмазного наконечника.

2. Выбирали место для испытания и поворачивали предметный столик примерно на 180° (от одного упора к другому) для производства отпечатка, испытываемое место должно быть точно под алмазом.

3. Далее проводили испытание, плавно нагружая наконечник, и выдерживали под нагрузкой не менее 3 секунд.

4. снимали нагрузку и проводили измерение размеров полученного отпечатка с помощью микроскопа в светлом поле на ПМТ-3.

5. Подставляя полученные данные в формулу (3.18), определяли значение микротвердости.

Испытание проводили с трехкратной повторностью при трех параллельных измерениях. За число микротвердости принимали среднее арифметическое результатов отдельных измерений.

3.9. Методика изучения граничного слоя между основой и покрытием

Характер граничного слоя изучали на поперечных шлифах. Кусочек чугуна с покрытием (образец) устанавливали в стальное кольцо (оправку) и заливали пластмассой Норакирил-65 (ГОСТ 24888-81).

Изучаемую поверхность образца шлифовали на плоскошлифовальном станке, а затем шлифовальной шкуркой различной зернистости по общепринятой методике [151].

После этого образец полировали на суконном круге в течение 10...15 минут, обезжиривали венской известью, промывали водой и травили в 5%-м растворе азотной кислоты в этиловом спирте [152, 153].

Время выбирали таким образом, чтобы обеспечить получение явно выявленной структуры. Затем, микрошлиф промывали водой, протирали ватой, смоченной в этиловом спирте, и просушивали фильтровальной бумагой.

Изучение и фотографирование граничного слоя проводилось на металлографическом микроскопе МИМ–8 (ГОСТ 28489-90) при увеличении в 400 раз.

3.10. Методика исследования влияния режимов электролиза на производительность процесса проточного осаждения и микротвердость цинкового гальванопокрытия

Для определения степени влияния основных параметров режима электроосаждения цинка на производительность процесса осаждения и микротвердость получаемых покрытий использовали планирование эксперимента методом Бокса – Уилсона.

В исследованиях применяли дробный факторный эксперимент (ДФЭ). При этом составляли дробную матрицу планирования (табл. 3.6), сохраняющую четыре основных свойства полной матрицы.

Предварительные исследования показали, что на производительность процесса электроосаждения цинка и физико-механические свойства получаемых покрытий в наибольшей степени оказывают влияние такие показатели, как скорость движения электролита через электролитическую ячейку – V , температура электролита – T , катодная плотность тока – D_k , кислотность электролита – pH .

Таким образом, зависимость производительности процесса электроосаждения и физико-механических свойств покрытия можно представить в виде функции:

$$\text{Пр} = f(V, T, D_k, pH), \quad (3.19)$$

Для установления математической зависимости производительности электроосаждения и физико-механических свойств от перечисленных факторов реализовали дробный факторный эксперимент ДФЭ 2^{4-1} .

Границы варьирования факторов определяли на основании предварительных исследований. Для каждого фактора выбирали и интервалы варьирования (табл. 3.5).

Перевод натуральных значений факторов в кодированные проводится по формуле

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{E_i}, \quad (3.20)$$

где X_i – кодированное значение i -го фактора; x_i – натуральное значение i -го фактора; x_{i0} – натуральное значение основного уровня; E_i – интервал варьирования.

Полуреплика 2^{4-1} задается генерирующим соотношением $x_4 = x_1 x_2 x_3$. Матрица планирования этой полуреплики представлена в табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3.5

Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни факторов		
				нижний	основной	верхний
1. Катодная плотность тока D_k	x_1	А/дм ²	10	10	20	30
2. Скорость движения электролита V	x_2	м/с	0,1	0,1	0,2	0,3
3. Температура электролита T	x_3	К	20	293	313	333
4. Кислотность электролита рН	x_4	рН	0,5	3,5	4	4,5

Определяющим контрастом полуреплики является соотношение:

$$I = x_1 x_2 x_3 x_4, \quad (3.21)$$

Совместные оценки будут определяться следующим образом:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 x_3 x_4; & b_1 &\rightarrow \beta_1 + \beta_{234}; & x_{12} &= x_3 x_4; & b_{12} &\rightarrow \beta_{12} + \beta_{34}; \\ x_2 &= x_1 x_3 x_4; & b_2 &\rightarrow \beta_2 + \beta_{134}; & x_{13} &= x_2 x_4; & b_{13} &\rightarrow \beta_{13} + \beta_{24}; \\ x_3 &= x_1 x_2 x_4; & b_3 &\rightarrow \beta_3 + \beta_{124}; & x_{14} &= x_2 x_3; & b_{14} &\rightarrow \beta_{14} + \beta_{23}; \\ x_4 &= x_1 x_2 x_3; & b_4 &\rightarrow \beta_4 + \beta_{123}. \end{aligned}$$

Т а б л и ц а 3.6

Матрица планирования ДФЭ 2^{4-1}

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 x_2 = x_2 x_4$	$x_1 x_3 = x_2 x_4$	$x_1 x_4 = x_2 x_3$
1	+	-	-	+	+	+	-	-
2	+	+	-	+	-	-	+	-
3	+	-	+	+	-	-	-	+
4	+	+	+	+	+	+	+	+
5	+	-	-	-	-	+	+	+
6	+	+	-	-	+	-	-	+
7	+	-	+	-	+	-	+	-
8	+	+	+	-	-	+	-	-

Каждый опыт проводили с двукратной повторностью при трех параллельных измерениях. Порядок проведения опытов принимали из таблицы случайных чисел.

Для ДФЭ 2^{4-1} уравнение регрессии, представляющее собой выборочную оценку функции Y , можно записать следующим образом:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4. \quad (3.22)$$

Для получения уравнения регрессии, адекватно описывающего исследуемый процесс, проводили статистическую обработку результатов планирования эксперимента [147, 148, 149].

3.11. Определение повторности опытов

При проведении исследований точность получаемых параметров повышается с увеличением количества опытов. Однако неразумно стремиться к неоправданно большому числу наблюдений, если убедительный результат можно получить и при минимально допустимом объеме выборки.

В наших исследованиях необходимое число опытов N , отвечающее точности, с какой было намечено получить средний результат, определяли по ГОСТ 17510-79:

$$\frac{E_\alpha}{V} = \frac{t_\alpha}{\sqrt{N}}, \quad (3.34)$$

где E_α – относительная ошибка; t_α – коэффициент Стьюдента; V – коэффициент вариации; N – повторность опытов.

На основании результатов предварительных экспериментов был найден коэффициент вариации для измеряемых параметров. Задаваясь относительной ошибкой E_α % и доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$, по величине E_α/V определяли необходимое число повторностей [149].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1. Исследование влияния технологических факторов на электрохимическое растворение серого чугуна в сернокислом электролите цинкования

Исследование влияния технологических факторов на электрохимическое растворение чугунов в сульфатном электролите цинкования проводилось по поляризационным кривым, которые были получены по методике, приведенной в разделе 3.3.

Анодные потенциодинамические поляризационные кривые, полученные на сером чугуне СЧ 18, имеют вид, характерный для пассивирующихся систем (рис. 4.1, 4.2, 4.3). На них можно выделить следующие участки:

АВ – активного растворения чугуна, сопровождаемое повышением анодной плотности тока D_a ;

ВС – пассивации, на котором при увеличении потенциала чугуна E происходит снижение плотности тока D_a ;

СД – растворения чугуна в пассивном состоянии;

ДЕ – вторичного увеличения плотности тока D_a .

Было выявлено, что концентрация сернокислого цинка оказывает заметное влияние на анодное растворение чугунов. Анализ кривых (рис. 4.1) показывает, что при увеличении количества Zn_2SO_4 в электролите происходят следующие изменения:

а) при одном и том же потенциале чугуна плотность тока активного растворения на участке АВ уменьшается;

б) наступление пассивации происходит при меньших плотностях тока;

в) растворение чугуна в пассивных состояниях также происходит при меньших плотностях тока;

г) пассивные состояния чугуна становятся более стабильными.

Наиболее высокая скорость растворения на участке АВ и длительное время пребывания поверхности электрода в состоянии устойчивой пассивации (участок СД) наблюдается в электролите, содержащем 700 г/л сернокислого цинка. Это можно объяснить повышенной концентрацией в растворе сульфат-ионов SO_4^{2-} , которые, как указывалось в разд. 2, играют большую роль в процессах растворения и пассивирования металлов. К такому же выводу пришли и авторы работ по изучению растворения металлов в водных растворах, содержащих сульфат-ионы [126, 127]. Однако для осаждения цинкового покрытия целесообразнее использовать электролит с концентрацией сернокислого цинка – 500 г/л, так как при большей величине содержания с понижением температуры раствора ниже 290К происходит выпадение соли в виде кристаллов.

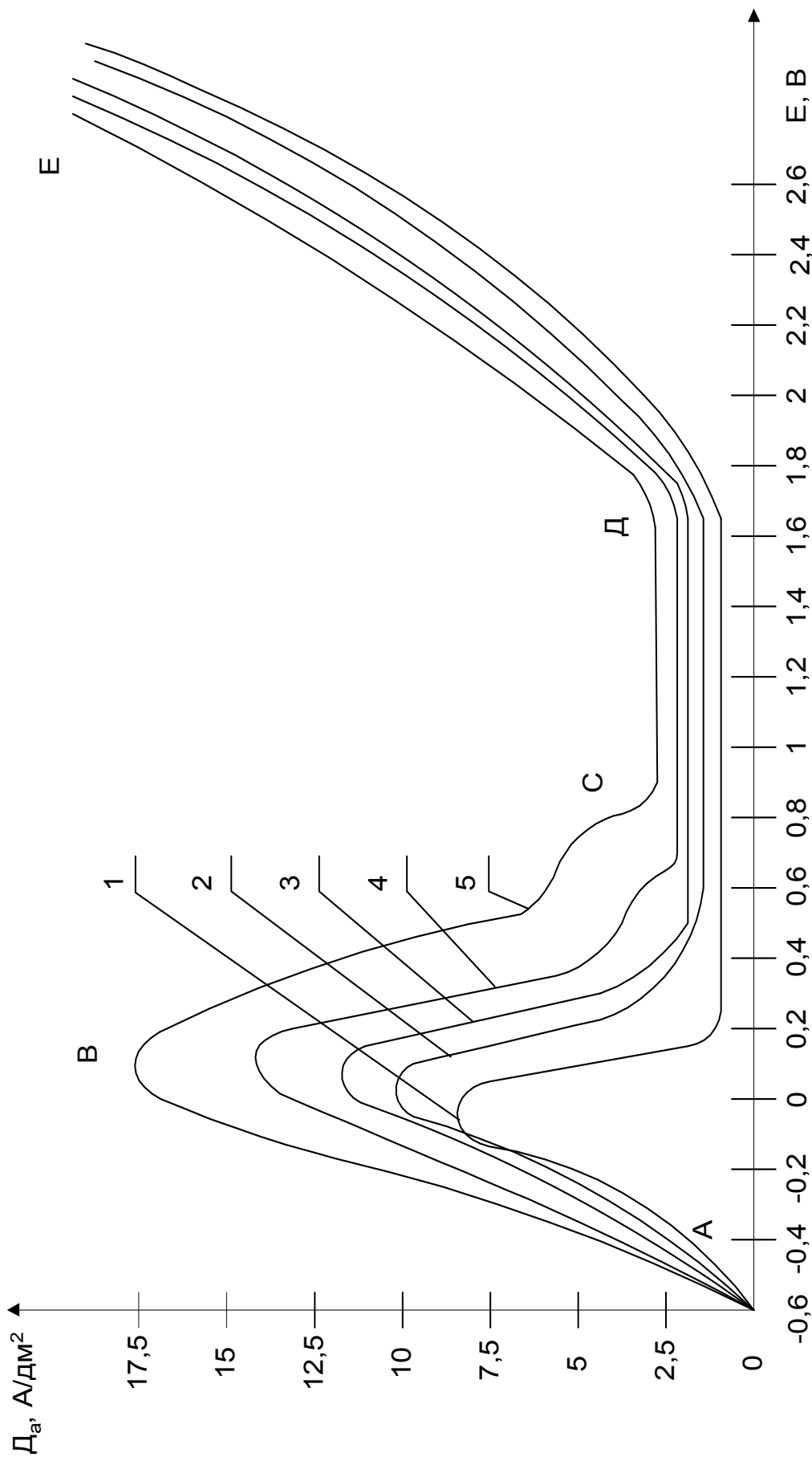


Рис.4.1. Анодные потенциодинамические кривые растворения чугуна СЧ 18 в электролите сернокислого цинка при $\text{pH} = 3,5$ и температуре $T=293 \text{ K}$. Концентрация $\text{Zn}_2\text{SO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$ (г/л): 1 – 700; 2 – 600; 3 – 500; 4 – 400; 5 – 300

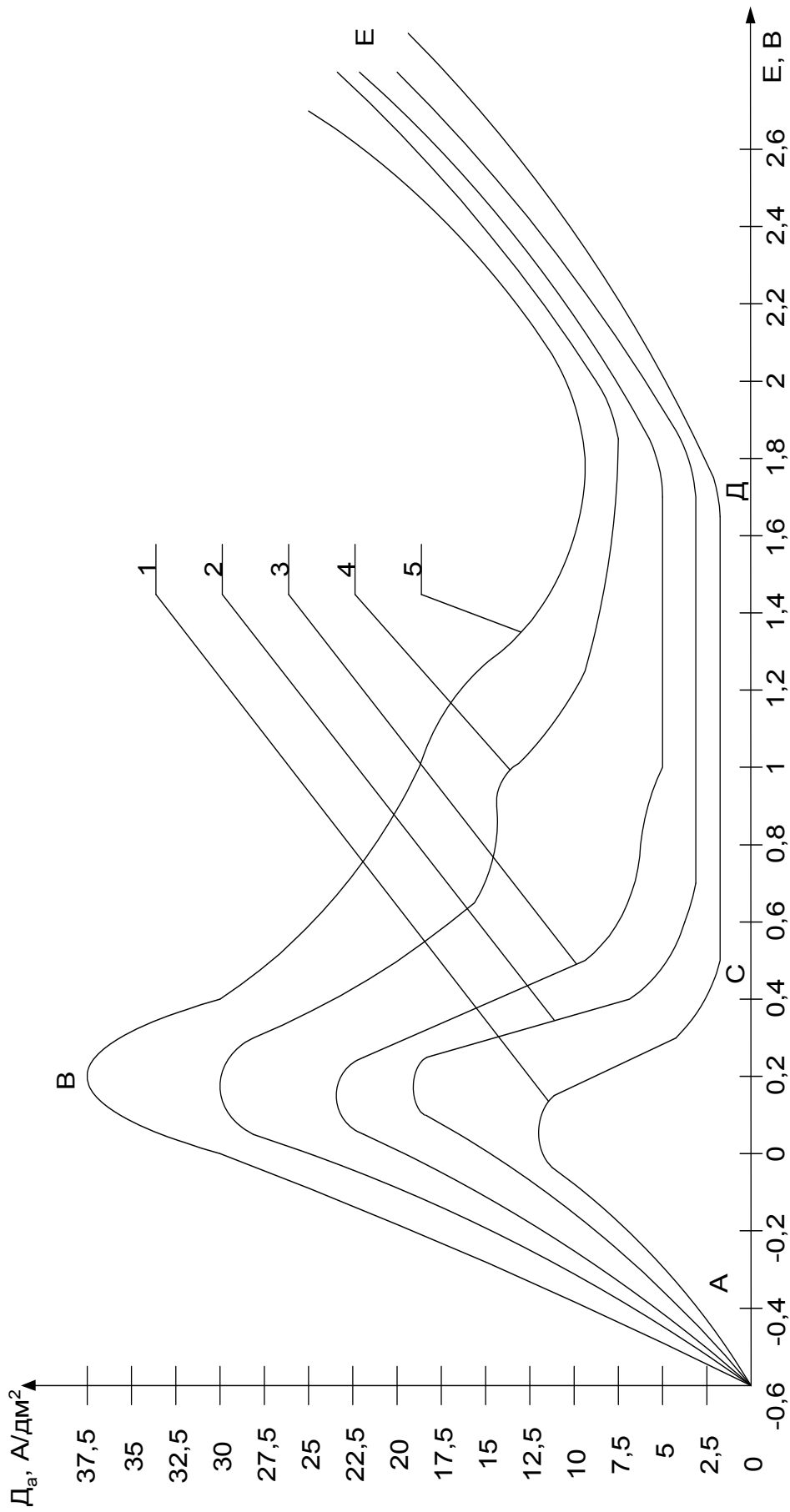


Рис.4.2. Анодные потенциодинамические кривые растворения чугуна СЧ 18 в электролите сернокислого цинка при концентрации $Zn_2SO_4 = 500$ г/л и рН = 3,5. Температура (К): 1 – 293; 2 – 303; 3 – 313; 4 – 323; 5 – 333

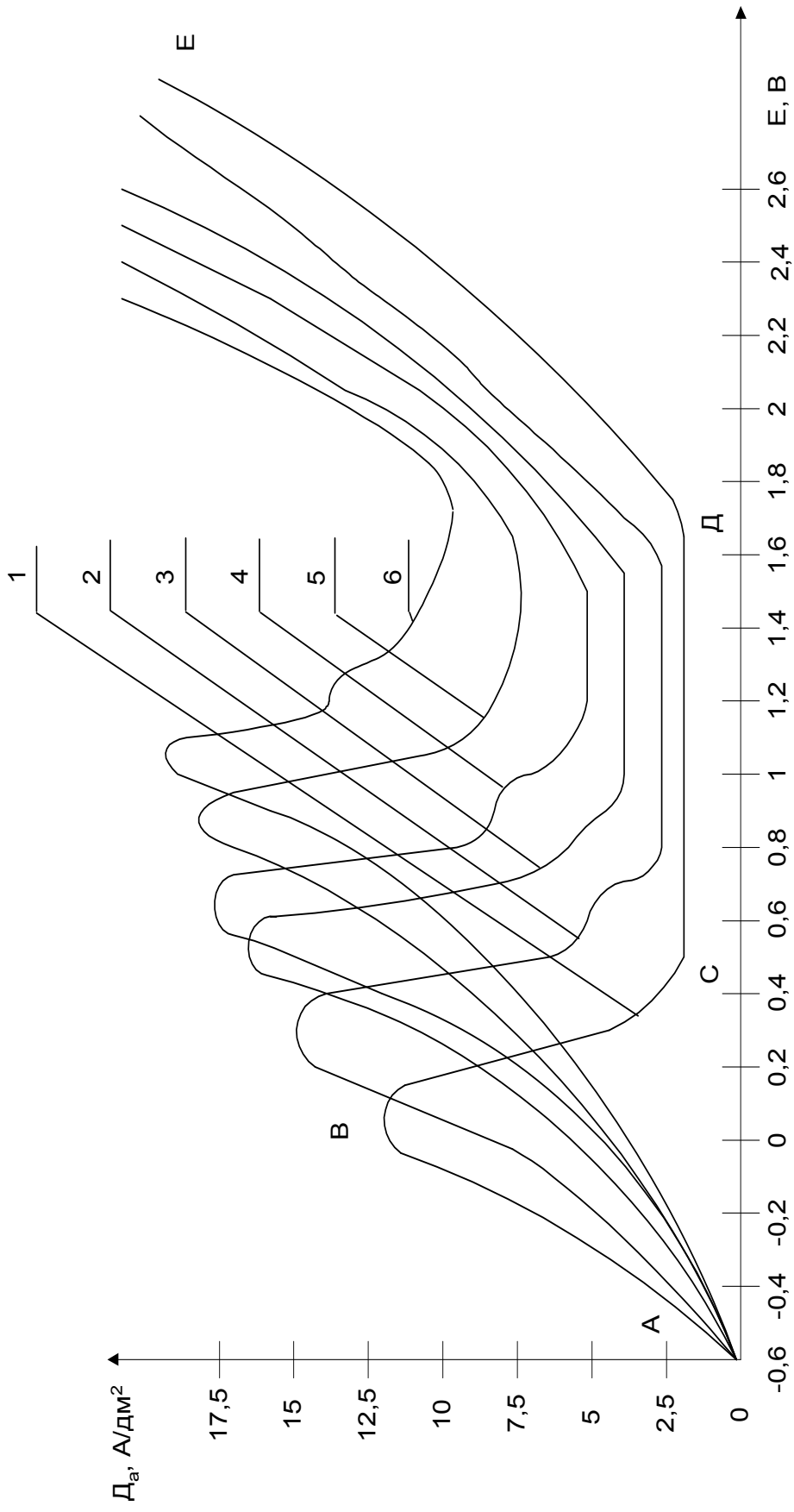


Рис.4.3. Анодные потенциодинамические кривые, полученные в электролите сернокислого цинка на дисковом электроде из чугуна СЧ 18. Частота вращения (об/мин): 1 – 0; 2 – 200; 3 – 500; 4 – 800; 5 – 1100; 6 – 1400

Поэтому в дальнейших исследованиях мы используем электролит с концентрацией Zn_2SO_4 равной 500 г/л.

При этой концентрации достижение состояния устойчивой пассивации и растворение чугуна в пассивном состоянии происходит при плотностях тока не значительно превышающие соответствующие плотности тока при концентрации $Zn_2SO_4 = 700$ г/л. Сами же пассивные состояния практически не отличаются друг от друга.

Повышение температуры электролита ведет к увеличению плотностей тока на всех участках поляризационных кривых (рис. 4.2), а также к снижению стабильности состояния устойчивой пассивации. Это объясняется, скорее всего, тем, что при повышении температуры электролита снижается его вязкость, повышается активность движения ионов, увеличивается коэффициент диффузии и растворимость продуктов анодных процессов. Аналогичное воздействие температуры на процесс анодного растворения металлов отмечали многие авторы [6, 74, 781, 106, 107].

Увеличение температуры несколько смещает потенциал активации в электроотрицательную сторону, что ведет к сокращению участка растворения чугуна в пассивном состоянии и увеличению зоны активированного растворения (рис.4.2). То есть для получения стабильных результатов травления чугуна СЧ 18 необходимо, чтобы температура используемого электролита находилась в пределах 293-303 К.

При нанесении цинковых покрытий в проточном электролите и проведении анодного травления в этом же электролите важно знать, как влияют гидродинамические условия на процесс растворения.

Как видно из хода анодных потенциодинамических поляризационных кривых (рис. 4.3), снятых на вращающемся дисковом электроде, по мере увеличения частоты его вращения резко возрастает плотность тока, при которой наступает пассивное состояние, а оно, в свою очередь, становится менее стабильным. Увеличение тока и нарушение стабильности пассивного состояния можно, по-видимому, объяснить снижением диффузионных ограничений, что приводит к увеличению скорости отвода продуктов реакций от поверхности анода [93, 94].

Известно, что при травлении графит выступает над поверхностью металла, поэтому проток электролита, вероятно, будет способствовать покрытию поверхности чугуна тонкой графитовой пленкой, что отрицательно скажется на прочности сцепления цинкового покрытия с чугуном [110].

Косов В.П. также указывает на целесообразность анодного травления серого чугуна в нециркулирующем 30%-м растворе серной кислоты, отмечая, что при этом увеличивается время существования стабильной пассивной пленки [116].

Следовательно, целесообразно проводить анодное травление чугунных деталей в нециркулирующем электролите сернокислого цинка.

Проведенные исследования по влиянию кислотности электролита на характер анодных поляризационных кривых показали, что в исследованных пределах $\text{pH} = 3,5-4,5$ она не оказывает заметного влияния.

Визуальные наблюдения за состоянием поверхности при анодной поляризации показали, что на участке АВ (рис.4.1, 4.2, 4.3) происходит образование темного мажущего слоя – шлама. Скорее всего на этом участке происходит растворение феррита, и максимальный ток на этом участке обусловлен наступлением состояния насыщения прианодного слоя продуктами растворения.

На участке ВС происходит переход от активного растворения металла к состоянию устойчивой пассивации, сопровождающийся снижением плотности тока, переходом потенциала электрода в положительную область и накоплением на поверхности продуктов реакций.

На участке СД поверхность под действием бурного выделения кислорода освобождается от продуктов реакций и по достижении потенциала величины 1,6-1,8 В становится светло-серого цвета практически свободной от шлама. То есть поверхность электрода становится соответствующей состоянию, описанному в литературных источниках, оптимального качества травления [25, 105, 106, 109].

В дальнейшем, на участке ДЕ, поверхность электрода претерпевает повторное растворение и вновь покрывается шламом, то есть наступает стадия вторичного растворения и пассивирования [105, 106].

Таким образом, теоретические предположения о механизме растворения серого чугуна СЧ 18 оказались верными и возможность проведения операции анодного травления непосредственно в сернокислом электролите цинкования становится очевидной.

Исходя из вышеизложенного все последующие исследования проводили в нециркулирующем электролите при следующих его параметрах:

Концентрация $\text{Zn}_2\text{SO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$, г/л	500-550
Температура электролита, К	293-303
Кислотность электролита, pH	3,5-4,5

4.2. Влияние механического активирования катодной поверхности на величину предельной плотности тока

При изучении влияния механической активации катодной поверхности на рост плотности тока были проведены электрохимические исследования по методике, изложенной в разделе 3.3, в результате которых получили катодные кривые (рис 4.4).

Как видно из анализа этих кривых плотность тока при осаждении без механической активации повышается до величины катодного тока 4 А/дм^2 ,

а затем происходит её стабилизация. То есть наступает момент, когда дальнейший рост плотности тока невозможен ввиду того, что, как отмечалось в теоретических предпосылках, скорость процесса пассивации катодной поверхности сравнялась со скоростью растворения пассивной пленки и разряжения катионов металла на катоде. Дальнейшее увеличение плотности тока приводит к росту дендритов.

Напротив, при проведении механической активации, при одной и той же развертке электродного потенциала, рост плотности тока не ограничивается максимальной величиной полученной на электроде без его активации, а продолжает, хоть и немного медленнее, но увеличиваться.

Это можно объяснить тем, что при механической активации восстанавливаемой поверхности происходит удаление с неё пассивирующей пленки, препятствующей процессу осаждения покрытия и увеличению предельной плотности тока. Более медленный рост плотности тока при активировании объясняется частичным экранированием электрода абразивными частицами.

Результаты наших исследований полностью подтверждают данные, полученные при изучении влияния механического активирования на процесс осаждения гальванопокрытий [98, 99, 100, 114, 130].

Итак, механическая активация катодной поверхности позволяет значительно увеличить предельную плотность тока при осаждении цинка.

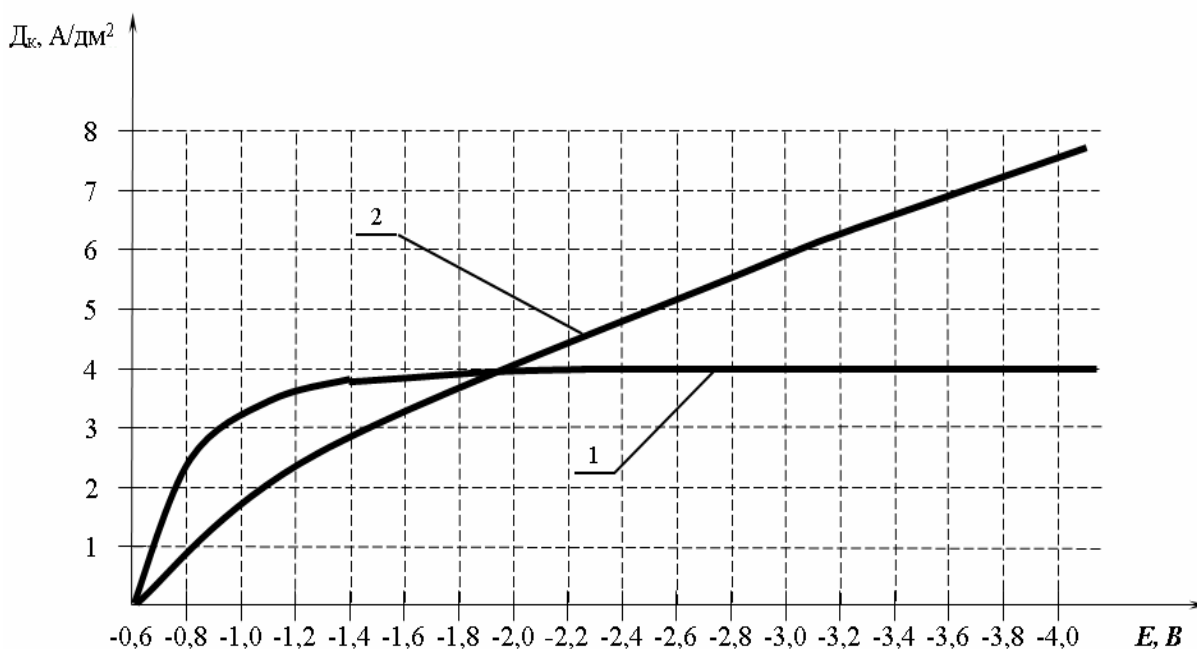


Рис. 4.4. Катодные потенциодинамические кривые, полученные при осаждении цинка из сернокислого электролита при $pH=3,54$; $T=293 К$ и $500 г/л Zn_2SO_4$: 1 – без механического активирования; 2 – с механическим активированием

4.3. Исследование влияния режимов анодной обработки на прочность сцепления цинковых покрытий с серым чугуном

В результате электрохимического исследования поведения чугуна СЧ 18 в электролите сернокислого цинка (подразд. 4.1) было установлено, что для получения качественного травления поверхности необходимо использовать электролит с концентрацией $ZnSO_4 = 500$ г/л, $T = 293$ К, $pH = 3,5$ в стационарном состоянии. При этом надо обеспечить переход потенциала поверхности в область устойчивого пассивирования (1,6-1,8 В). Было обнаружено, что для этого необходимо проводить травление при плотности тока 20-30 А/дм² в течение 35 – 55 секунд. Следовательно, на прочность сцепления покрытия с чугуном влияет плотность анодного тока D_a и время травления τ . Это предположение подтвердилось в однофакторных экспериментах по определению влияния плотности тока и времени анодной обработки на прочность сцепления цинка с чугуном. Результаты исследований приведены на рис. 4.5. Основываясь на литературных данных и собственных предварительных исследованиях, были приняты следующие условия начального периода осаждения и параметры механической активации катода [105-107]:

начальная катодная плотность тока D_k , А/дм ²	10
катодно-анодный показатель β_n	1,25
температура электролита T , К	293
кислотность электролита pH	3,5
скорость движения электролита V , м/с	0,2
время выдержки без тока τ_1 , с	30
время выхода на рабочий режим, с	480
частота активации K_a , мин ⁻¹	82,5
глубина внедрения зерна h , мкм	0,014
давление активирующего инструмента $P_{бр}$, Па	87

Осаждение цинкового гальванопокрытия проводили при плотности тока 30 А/дм² в течение 3 часов, получали покрытие толщиной 1,5 мм. Для уточнения режима анодной обработки восстанавливаемой поверхности, который позволил бы получить наивысшую прочность сцепления цинкового гальванопокрытия с чугуном СЧ 18, был проведен полный факторный эксперимент, по методике, изложенной в подразд. 3.7.

Прочность сцепления покрытия с основой определяли методом отрыва штифтов по методике, описанной в подразд. 3.5. Результаты исследований зависимости прочности сцепления цинкового гальванопокрытия с основой от режима травления приведены в табл. 4.1 и 4.2.

Анализ этих результатов показывает, что максимально возможная прочность сцепления покрытия с чугуном (66,4 МПа) достигается травлением при плотности анодного тока 30 А/дм² и времени выдержки при этой плотности тока 35 с [154].

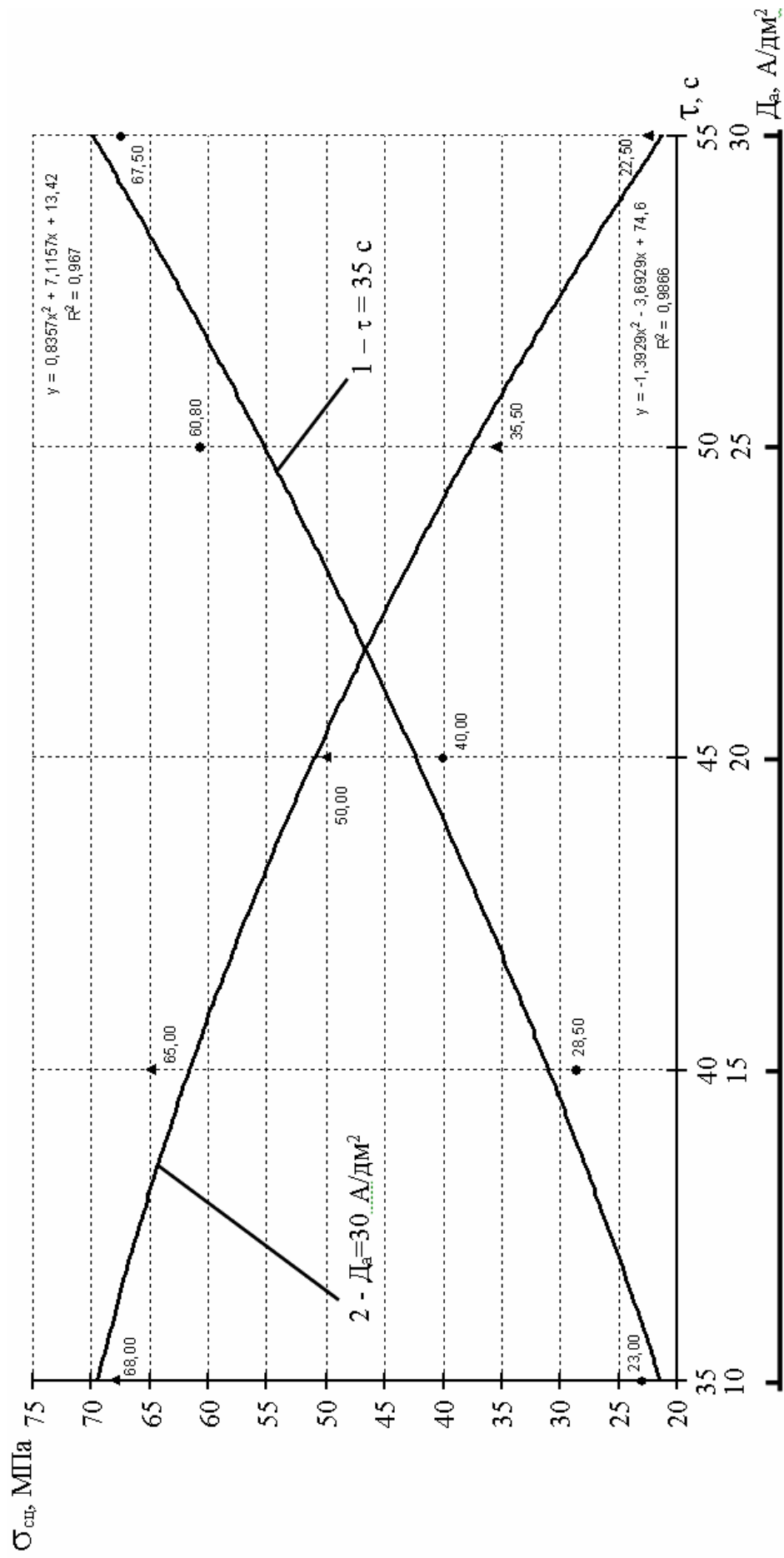


Рис. 4.5. Влияние анодной плотности тока (1) и времени травления (2) на прочность сцепления цинкового гальванопокрытия с чугуном СЧ 18

Таблица 4.1

План и результаты ПФЭ 2²

Номер опыта	Уровни факторов				Значение параметра оптимизации, А/дм ²						Среднее значение U_{cp}	Дисперсия среднего Su^2	Расчетное значение U_{pac}
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆			
1	+	-	-	+	25,4	26,0	27,7	25,0	23,8	28,0	26,0	2,6177	26,0
2	+	+	-	-	68,0	66,0	63,3	66,0	68,5	66,6	66,4	3,388	66,4
3	+	-	+	-	52,2	53,6	50,0	52,4	53,7	52,0	52,3	1,8097	52,2
4	+	+	+	+	30,0	32,6	29,8	30,0	32,6	33,4	31,4	2,6720	31,4

Получаемое покрытие при эксцентричной обработке на токарном станке не отслаивается и не скалывается (рис 4.6).

При уменьшении плотности тока до 20 А/дм² происходит снижение прочности сцепления на 30-40 %. По видимому это объясняется тем, что такая плотность тока недостаточна для обеспечения перехода потенциала чугуна СЧ 18 в область устойчивой пассивации и образования сплошной пассивной пленки. Скорее всего травление происходит в активной зоне, и поверхность катода не очищается от травильного шлама. По той же самой причине и при дальнейшем уменьшении плотности тока происходит снижение прочности сцепления вплоть до 24 МПа.

Повышение плотности тока выше 30 А/дм² не является целесообразным, так как уже при этом значении достигается наибольшая прочность сцепления покрытия с основой, вплотную приближающаяся к прочности цинка на разрыв.

Увеличение времени травления с 35с до 55с также ведет к резкому снижению прочности сцепления. Это можно объяснить наступлением состояния перетравливания поверхности катода, при котором наступает перепассивация и «прикипание» шлама к обрабатываемой поверхности.

Таблица 4.2

Результаты обработки опытных данных

Наименование параметра	Значение
Количество опытов или число строк матрицы N	4,0
Количество параллельных опытов n	6,0
Число факторов k	2,0
Сумма средних значений параметров оптимизации Y_{cp}	176,0
Сумма построчных дисперсий Y_{cp}, Su^2	10,5
Критерий Кохрена G_p	0,25
Табличное значение критерия Кохрена при $n-1=5$ и $P=0,05$, G_T	0,3595
Дисперсия воспроизводимости эксперимента S_v^2	2,6
Коэффициенты модели:	
b_0	44,0
b_1	4,9
b_2	-2,2
b_{12}	-15,3
Дисперсия коэффициентов регрессии, $S^2(b_i)$	0,1092
Число степеней свободы для S_v^2, f	20,0
Табличное значение критерия t_T при $P=0,05$	2,09
Доверительный интервал b_i	0,6908
Уравнение регрессии $Y = 44+4,9X_1-2,2X_2-15,3X_1X_2$ (4.1)	
Дисперсия адекватности модели $S_{ад}^2$	0,0833
Критерий Фишера F_p	0,0042
Табличное значение критерия F_p при $P=0,05$	246,95
Уравнение регрессии в раскодированном виде: $\sigma_{сц} = -93,6+7,373D_a+2,8\tau-0,153D_a\tau$	

Проведенный полный факторный эксперимент (ПФЭ) 2^2 позволил составить уравнение регрессии, из которого видно, что наибольшее влияние на прочность сцепления покрытия с серым чугуном оказывает анодная плотность тока D_a [154]. К аналогичным заключениям пришли многие авторы в своих работах [105,106, 107].

Максимальная прочность сцепления цинка с чугуном СЧ 18 при анодной обработке непосредственно в сернокислом электролите цинкования будет обеспечиваться при плотности тока 30 А/дм^2 и времени травления 35 секунд [154].



Рис. 4.6. Зона перехода от покрытия к основе, полученная в результате проведения эксцентричной обработки на токарном станке

4.4. Исследование влияния режимов начального периода осаждения цинка на прочность сцепления его с чугуном

Известно, что анодная обработка сопровождается возникновением на поверхности пассивной пленки. Цель начального периода – освобождение поверхности от этой пленки. задачей данного исследования является определение условий, при которых пассивная пленка наиболее полно удаляется с поверхности и происходит осаждение малонапряженных осадков цинка.

Анодная обработка чугуна производилась в нециркулирующем электролите с концентрацией сернокислого цинка 500 г/л при температуре 293 К, рН=3,5. Плотность тока при травлении равна 30 А/дм², время выдержки τ – 35 секунд. Время выхода на рабочий режим (плотность тока 30А/дм² в течение 3 часов, толщина цинка 1,5 мм) 480 сек.

Для определения степени влияния режимов начального периода осаждения цинка на прочность сцепления с серым чугуном и получения математической модели ставили дробный факторный эксперимент ДФЭ 2⁶⁻³. План и результаты эксперимента приведены в табл. 4.3, 4.4 и на

рис. 4.7, 4.8, 4.9. Обработку результатов проводили по методике, изложенной в подразд. 3.5. и 3.7.

Как видно из анализа уравнения регрессии (4.2) (табл. 4.4), наибольшее влияние на прочность сцепления оказывает катодная плотность тока. Это объясняется дополнительным активирующим действием ионов водорода, выделяющегося на катоде. Чем меньше катодная плотность тока, тем больше выход по току водорода и, следовательно, меньше выход по току цинка [70, 116].

Прочность сцепления повышается, если катодно-анодный показатель находится на нижнем уровне, а температура электролита на верхнем. Очевидно, при низком катодно-анодном соотношении осаждение происходит в более «мягких условиях», что позволяет снизить внутренние напряжения начального слоя цинка, а также наиболее точно копировать покрываемую поверхность. Это повышает адгезионные свойства первичного слоя.

К таким же выводам пришел и Проскурин Е.В. [107], отметивший положительное влияние снижения катодно-анодного показателя на величину внутренних напряжений и «кроющей» способности цинкового покрытия. В свою очередь, положительное влияние повышения температуры электролита на прочность сцепления можно объяснить тем, что при этом происходит активация всех электрохимических процессов, увеличение электропроводимости и, как считает Кудрявцев Н.Т. [106], уменьшению внедряющегося в осадок водорода, который снижает его сплошность.

Анализ результатов исследований показал, что кислотность и скорость протока электролита в исследуемых пределах оказывают незначительное влияние на прочность сцепления. Это можно объяснить тем, что изменение кислотности и скорости в этих пределах не вызывает каких-либо существенных изменений в кинетике электродных процессов.

Что же касается времени выдержки без тока, то она не оказывает практически никакого влияния на прочность сцепления. Очевидно, что основную её роль – растворение пассивной пленки, которая образуется во время анодной обработки и влияет на прочность сцепления, выполняет механическое активирование катодной поверхности в первоначальный момент осаждения.

Таблица 4.3

План и результаты ДФЭ 6^{3-1}

Номер опыта	Уровень фактора						Значение параметра оптимизации $\sigma_{сц}$, МПа						Среднее значение	Дисперсия среднего	Расчетное значение	
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_2X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5				Y_6
1	+	+	-	-	+	-	-	49,0	53,0	54,3	52,7	51,0	52,0	52,0	3,356	52,26
2	-	+	-	+	-	+	-	50,0	54,3	52,8	53,7	52,3	54,1	52,9	2,563	52,61
3	+	-	-	+	-	-	+	59,0	58,4	60,0	62,0	60,0	59,4	59,8	1,536	60,06
4	-	-	-	-	+	+	+	69,0	67,0	68,0	66,0	68,0	70,0	68,0	2,00	67,74
5	+	+	+	+	+	+	+	60,0	57,8	58,0	60,0	57,6	55,0	58,1	3,435	57,81
6	-	+	+	-	-	-	+	62,2	64,0	59,0	62,0	60,0	64,5	62,0	4,655	62,21
7	+	-	+	-	-	+	-	66,0	68,7	65,0	64,0	66,4	65,7	66,0	2,507	65,71
8	-	-	+	+	+	-	-	70,0	69,0	70,0	66,0	69,5	70,0	69,1	2,442	69,34

Таблица 4.4

Обработка результатов эксперимента

Наименование параметра	Значение
Количество опытов или число строк матрицы N	8
Количество параллельных опытов n	6
Число факторов k	6
Сумма средних значений параметров оптимизации Y_{cp}	487,73
Сумма построчных дисперсий Y_{cp}, Su^2	22,49
Критерий Кохрена G_p	0,149
Табличное значение критерия Кохрена при $n-1=5$ и $P=0,05$, G_T	0,3595
Дисперсия воспроизводимости эксперимента S_y^2	2,81
Коэффициенты модели:	
b_0	60,9
b_1	- 2
b_2	- 4,75
b_3	2,8
b_4	- 1
b_5	0,82
b_6	0,26
b_{23}	1
Дисперсия коэффициентов регрессии $S^2(b_i)$	0,059
Число степеней свободы для S_y^2, f	40
Табличное значение критерия t_T при $P=0,05$	2,02
Доверительный интервал b_i	0,49
Уравнение регрессии: $Y=60,9-2X_1-4,75X_2+2,8X_3-X_4+0,82X_5+X_2X_3$, (4.2)	
Дисперсия адекватности модели $S_{ад}^2$	3,20
Критерий Фишера F_p	1,14
Табличное значение критерия F_p при $P=0,05$	4,1
Уравнение регрессии в раскодированном виде: $\sigma_{сц} = 100 - 8\beta - 7D_{кн} - 0,02T - 2pH + 8,2V + 0,02D_{кн}T$	

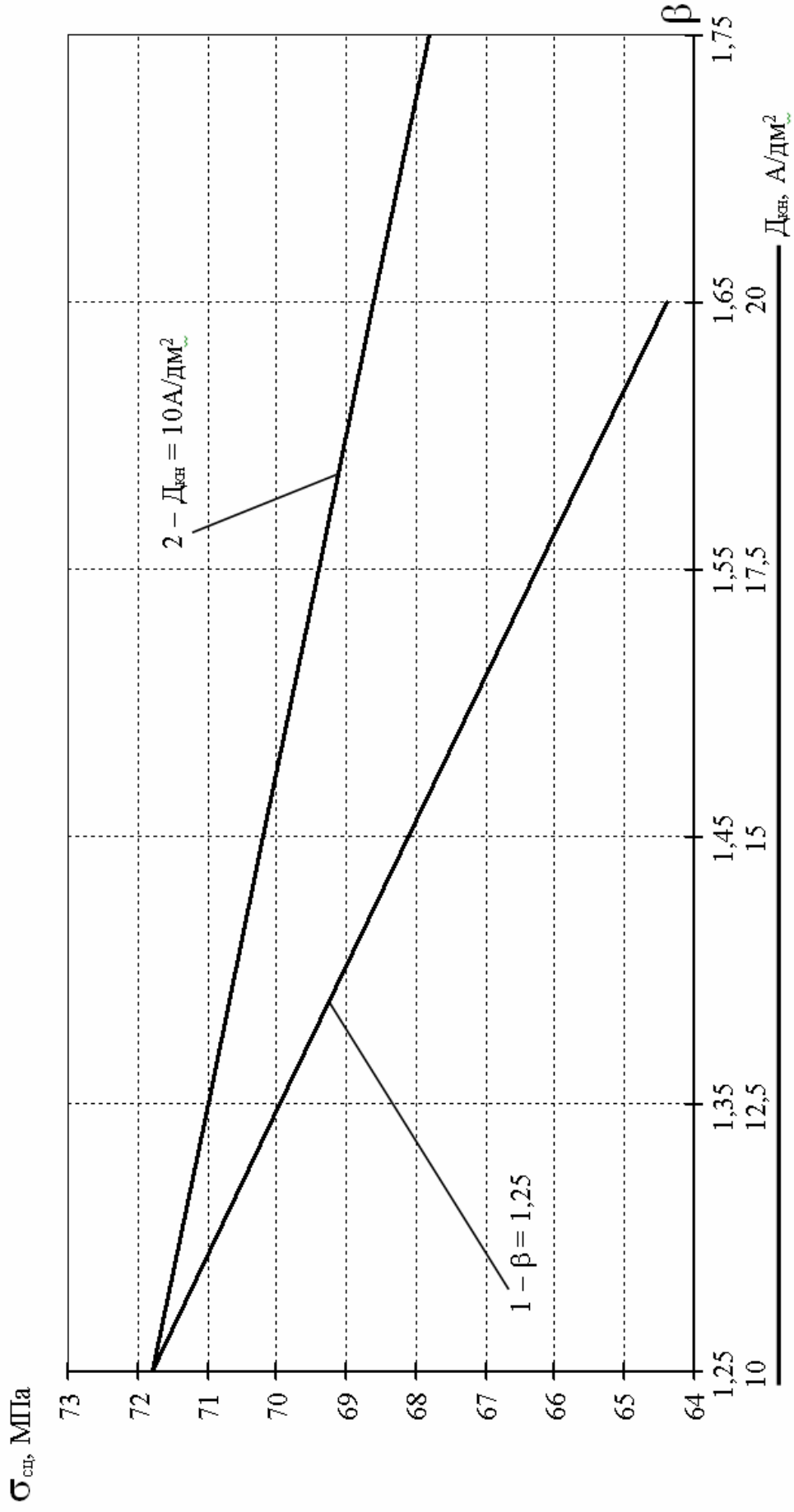


Рис. 4.7. Влияние начальной катодной плотности тока (1) и катодно-анодного показателя (2) на прочность сцепления цинкового покрытия с чугуном СЧ 18 ($T = 313\text{K}$; $pH = 3,5$; $V = 0,3$ м/с; время выдержки без тока – 30 с)

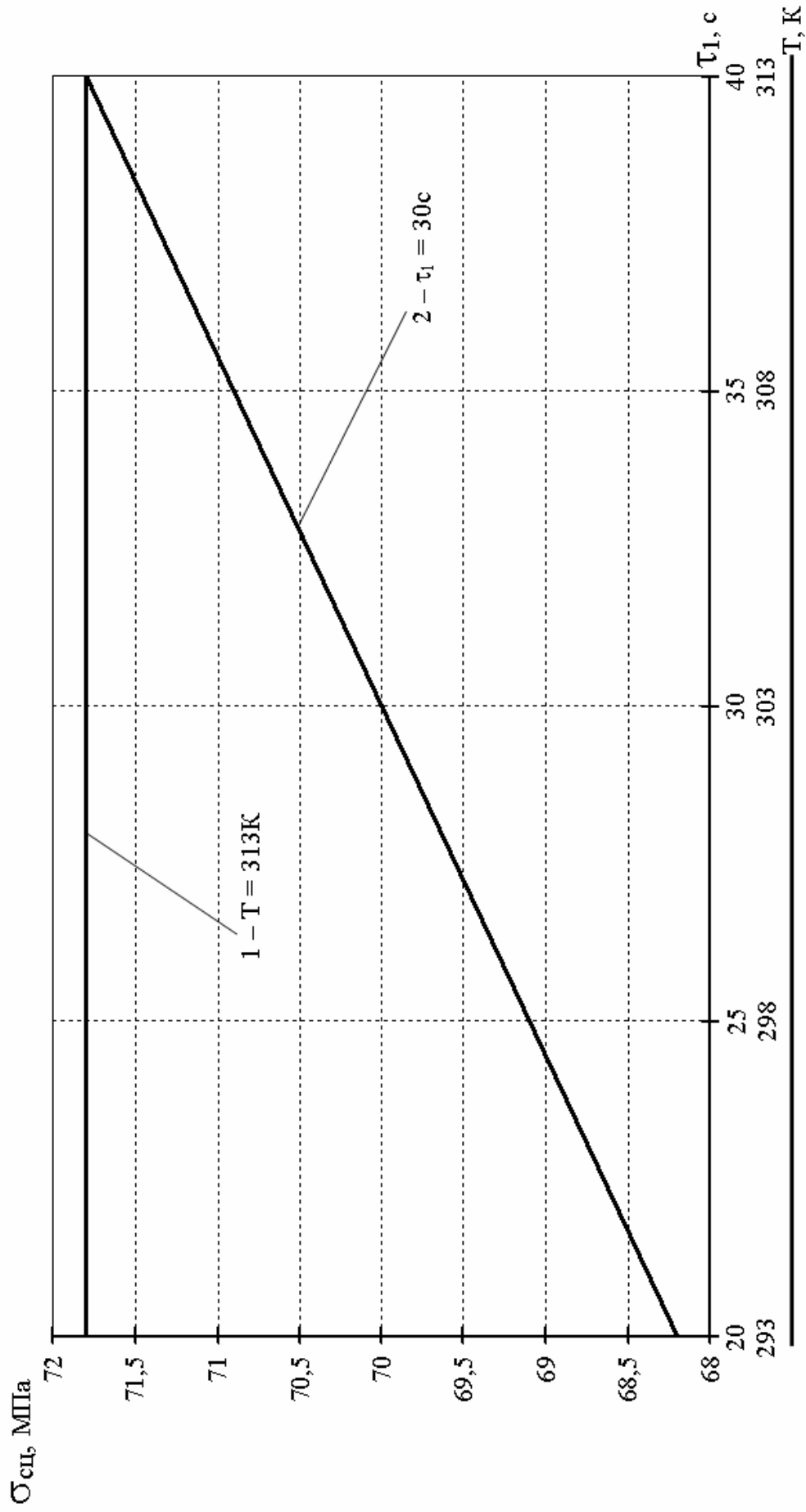


Рис. 4.8. Влияние времени выдержки без тока (1) и температуры электролита цинкования (2) на прочность сцепления цинкового покрытия с чугуном СЧ 18 ($D_{\text{кат}} = 10 \text{ А/дм}^2$; $\beta = 1,25$; $\text{pH} = 3,5$; $V = 0,3 \text{ м/с}$)

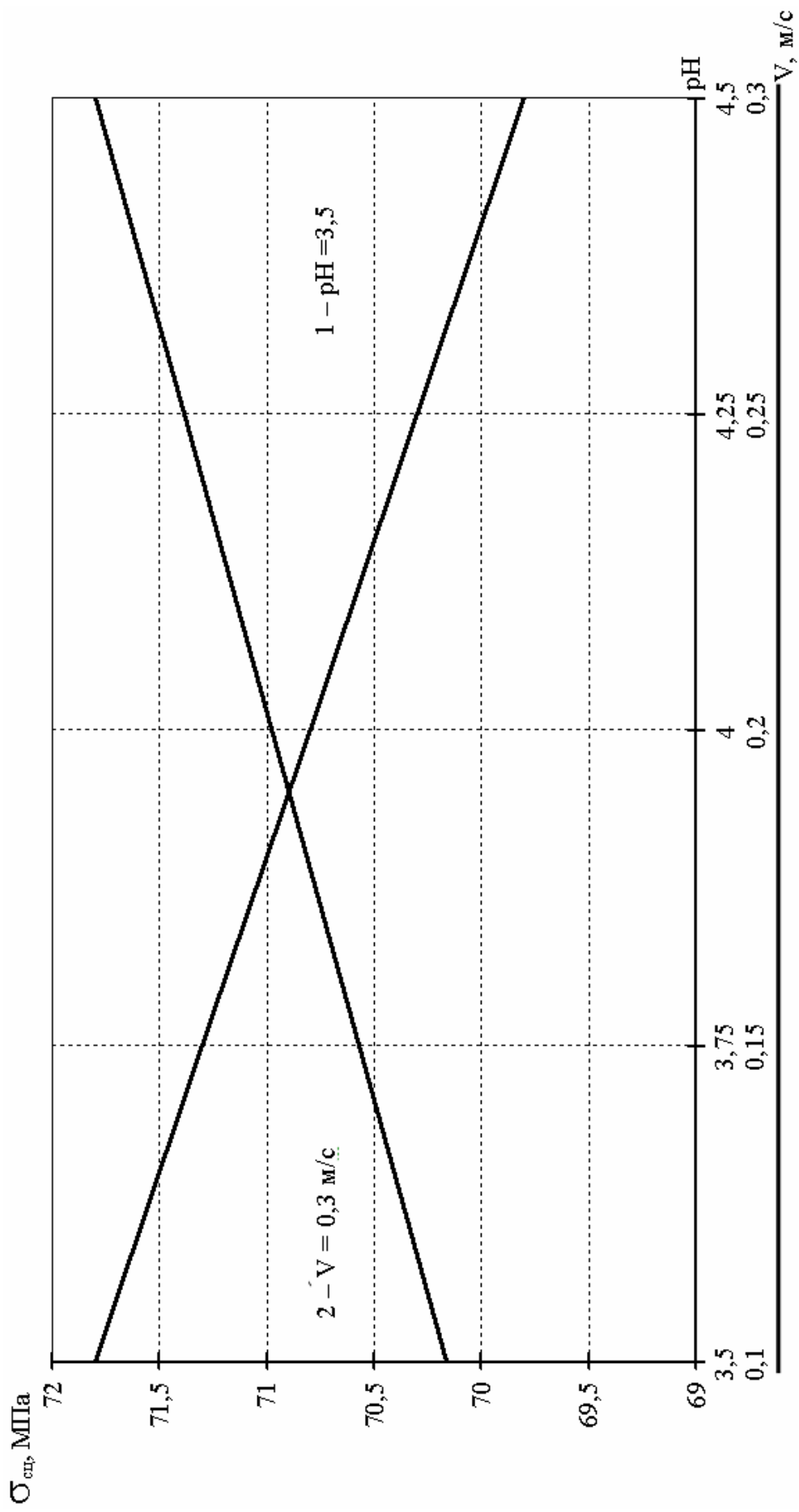


Рис. 4.9. Влияние скорости протекания (1) и кислотности (2) электролита на прочность сцепления цинкового покрытия с чугуном СЧ 18 ($T = 313\text{K}$; $D_{\text{кит}} = 10\text{A/дм}^2$; $\beta = 1,25$; время выдержки без тока = 30 с)

Таким образом, подтверждаются теоретические предпосылки о способствовании механического активирования катодной поверхности удалению пассивной пленки, образующейся при анодном травлении и снижающей прочность сцепления покрытия с основой. На основе результатов экспериментов определены оптимальные режимы начального периода осаждения цинка, обеспечивающие высокую прочность сцепления с серым СЧ 18 чугуном:

Время выдержки без тока τ_1 , с	20-30
Катодно-анодный показатель β_n	1,25-1,5
Начальная катодная плотность тока $D_{кн}$, А/дм ²	10-15
Температура электролита Т, К	293-303
Кислотность электролита, рН	3,5-4,5
Скорость движения электролита, м/с	0,2-0,3

При таких условиях электролиза прочность сцепления покрытия с основой равна или приближается к прочности цинка на разрыв (70 МПа).

Металлографические исследования граничной зоны между серым чугуном СЧ 18 и цинковым гальванопокрытием, подготовленным и осажденным на оптимальных режимах, показали отсутствие в ней посторонних включений (рис. 4.10). Нечетко выраженная граница подтверждает высокую прочность сцепления цинкового покрытия с серым чугуном.



Рис. 4.10. Граничная зона между чугуном СЧ 18 и цинковым гальванопокрытием ($\times 400$); анодное травление чугуна: $D_a = 30 \text{ А/дм}^2$; $\tau = 35 \text{ с}$; период начального осаждения: $D_{кн} = 10 \text{ А/дм}^2$; $\beta = 1,25$; $T = 303 \text{ К}$; рН = 3,5

4.5. Исследование влияния режимов электролиза на производительность осаждения и микротвердость покрытия

На основе априорных данных мы предположили, что на производительность процесса электролиза, а также на микротвердость получаемого покрытия оказывают влияние одни и те же элементы режима осаждения: катодная плотность тока D_k , температура электролита T , скорость циркуляции электролита V и его кислотность [6, 25, 78, 79, 95, 96, 106, 107].

Для определения степени влияния режима электролиза на производительность осаждения и микротвердость получаемого осадка и получения математической зависимости ставили дробный факторный эксперимент ДФЭ 2^{4-1} . Данные исследования проводили при постоянных условиях травления серого чугуна и начального периода осаждения в электролите сернокислого цинка, определенные в разделе 4.3. План и результаты обработки дробных факторных экспериментов ДФЭ 2^{4-1} приведены в табл. 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 и на рис. 4.11, 4.12, 4.13, 4.14.

Т а б л и ц а 4.5

План и результаты ДФЭ 2^{4-1} (производительность мкм/Ач)

Номер опыта	Уровень фактора							Значение параметра оптимизации, мкм/Ач						Среднее значение U_{cp}	Дисперсия среднего Su^2	Расчетное значение U_{pac}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3	X_1X_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6			
1	-	-	+	+	+	-	-	4,8	4,0	3,3	7,5	5,2	3,4	4,70	2,45	4,47
2	+	-	+	-	-	+	-	15,6	15,5	14,1	13,4	12,6	15,5	14,45	1,64	14,67
3	-	+	+	-	-	-	+	9,3	10,4	9,3	6,3	10,6	9,0	9,15	2,37	9,47
4	+	+	+	+	+	+	+	14,5	16,3	15,1	18,4	17,7	20,3	17,05	4,74	16,87
5	-	-	-	-	+	+	+	1,4	3,2	3,7	2,4	3,9	1,0	2,60	2,27	2,27
6	+	-	-	+	-	-	+	4,4	9,2	6,6	3,6	8,3	6,8	6,48	4,69	6,87
7	-	+	-	+	-	+	-	4,4	2,6	5,3	2,8	3,6	7,0	4,28	2,79	14,47
8	+	+	-	-	+	-	-	10,5	13,2	11,5	13,3	12,7	12,4	12,27	1,17	11,87

Обработку результатов проводили по методике, изложенной в подразд. 3.10. Производительность определяли контролем толщины наносимого цинкового покрытия (измеряя внутренний диаметр отверстия до и после восстановления) в единицу времени. Микротвердость определяли по методике, описанной в подразд. 3.8.

Т а б л и ц а 4.6

Обработка экспериментальных данных (производительность Пр)

Наименование показателя	Значение
Количество опытов или число строк матрицы N	8
Количество параллельных опытов n	6
Число факторов k	4
Сумма средних значений параметров оптимизации Y_{cp}	71,0
Сумма построчных дисперсий Y_{cp}, Su^2	21,30
Критерий Кохрена G_p	0,069
Табличное значение критерия Кохрена при $n-1=5$ и $P=0,05$; G_T	0,3595
Дисперсия воспроизводимости эксперимента Sy^2	2,662
Коэффициенты модели:	
b_0	8,873
b_1	3,7
b_2	1,8
b_3	2,5
b_4	-0,7
b_{12}	0,3
b_{13}	0,7
b_{14}	-0,052
Дисперсия коэффициентов регрессии, $S^2(b_i)$	0,055
Число степеней свободы для Sy^2, f	40
Табличное значение критерия t_T при $P=0,05$	2,02
Доверительный интервал b_i	0,476
Уравнение регрессии: $Y = 8,873+3,7X_1+1,8X_2+2,5X_3-0,7X_4+0,7X_1X_3$ (4.3)	
Дисперсия адекватности модели, $Sад^2$	1,373
Критерий Фишера F_p	0,516
Табличное значение критерия F_p при $P=0,05$	2,9
Уравнение регрессии в раскодированном виде: $Пр = -13,765-0,725Д_к+18V+0,055Т-1,4рН+0,0035Д_кТ$	

Таблица 4.7

Результаты эксперимента ДФЭ 4^{4-1} (микротвердость МПа)

Номер опыта	Уровень фактора								Значение параметра оптимизации, МПа						Среднее значение Y_{cp}	Дисперсия среднего Su^2	Расчетное значение Y_{pac}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3	X_1X_4	X_2X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6			
1	-	-	+	+	+	-	-	-	340,0	330,0	300,0	350,0	360,0	300,0	330,0	640,00	342,91
2	+	-	+	-	-	+	-	-	500,0	530,0	490,0	510,0	500,0	470,0	500,0	400,00	502,91
3	-	+	+	-	-	-	+	+	380,0	360,0	380,0	400,0	410,0	400,0	388,3	336,67	375,41
4	+	+	+	+	+	+	+	+	460,0	500,0	470,0	470,0	450,0	490,0	473,3	346,67	470,41
5	-	-	-	-	+	+	+	+	600,0	630,0	570,0	590,0	610,0	600,0	600,0	400,00	605,41
6	+	-	-	+	-	-	+	+	690,0	640,0	660,0	700,0	650,0	680,0	670,0	560,00	665,41
7	-	+	-	+	-	-	+	-	570,0	590,0	600,0	550,0	580,0	580,0	578,3	296,67	572,91
8	+	+	-	-	+	-	-	-	680,0	720,0	700,0	650,0	700,0	710,0	693,3	626,67	697,91

Т а б л и ц а 4.8

Обработка экспериментальных данных (микротвердость M_{KT})

Наименование параметра	Значение
Количество опытов или число строк матрицы N	8
Количество параллельных опытов n	6
Число факторов k	4
Сумма средних значений параметров оптимизации Y_{cp}	4233,3
Сумма построчных дисперсий U_{cp}, Su^2	3606,67
Критерий Кохрена G_p	0,177
Табличное значение критерия Кохрена при $n-1=5$ и $P=0,05$, G_T	0,3595
Дисперсия воспроизводимости эксперимента Sy^2	450,833
Коэффициенты модели:	
b_0	529,17
b_1	55,0
b_2	4,2
b_3	-106,3
b_4	-16,3
b_{12}	-5,0
b_{13}	8,8
b_{14}	3,75
Дисперсия коэффициентов регрессии, $S^2(b_i)$	9,3924
Число степеней свободы для Sy^2 , f	40,0
Табличное значение критерия t_T при $P=0,05$	2,02
Доверительный интервал b_i	6,1907
Уравнение регрессии: $Y = 529,17 + 55X_1 - 106,3X_3 - 16,3X_4 + 8,8X_1X_3$ (4.4)	
Дисперсия адекватности модели $S_{ад}^2$	902,78
Критерий Фишера F_p	2,0025
Табличное значение критерия F_p при $P=0,05$	2,9
Уравнение регрессии в раскодированном виде: $M_{KT} = 2488,6 + 8,23D_K - 6,2T - 32,6pH + 0,044D_K T$	

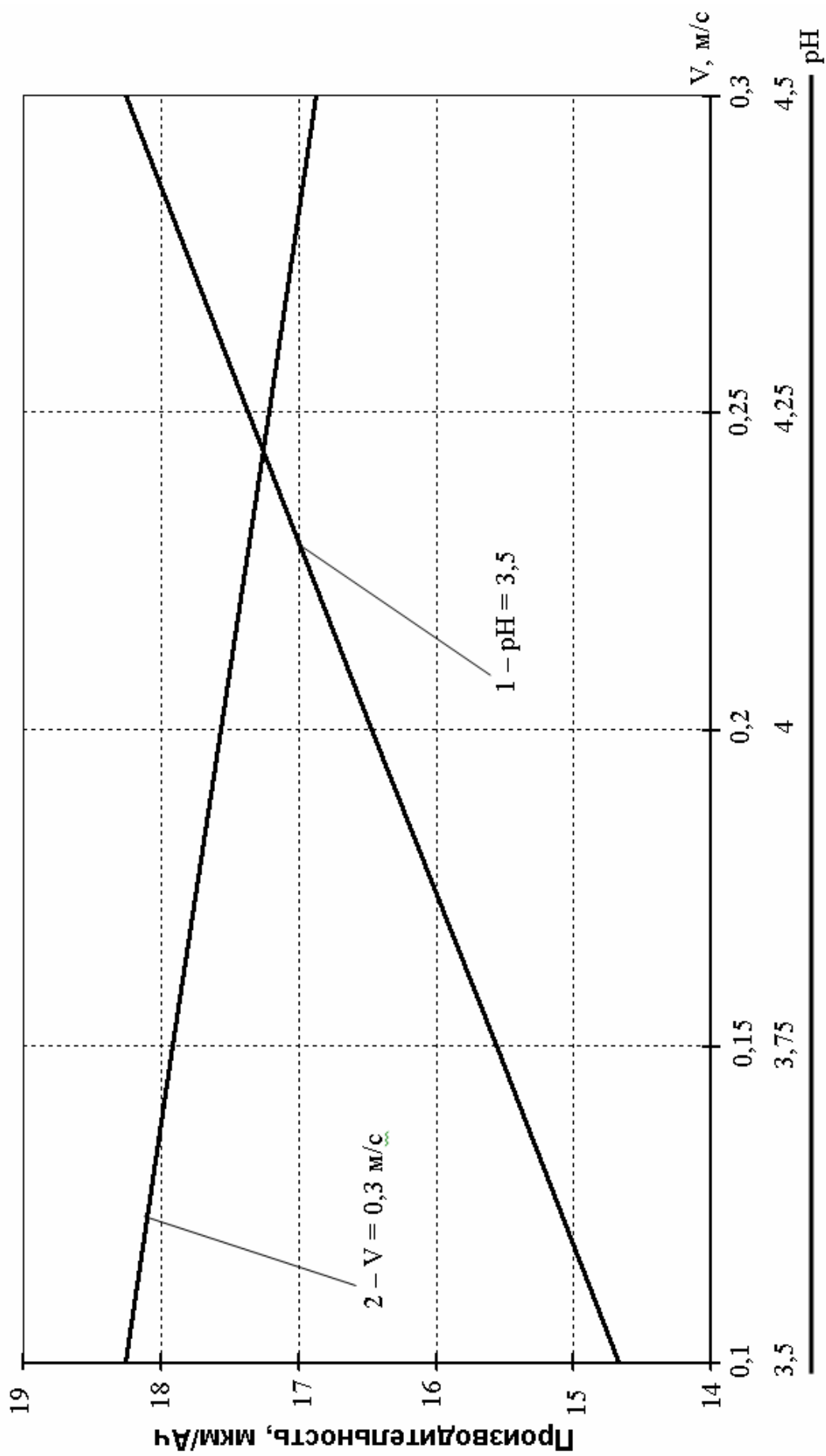


Рис. 4.1.1. Влияние скорости протекания электролита (1) и его кислотности (2) на производительность процесса осаждения цинкового покрытия ($D_k = 30 \text{ A/дм}^2$; $T = 333 \text{ K}$).

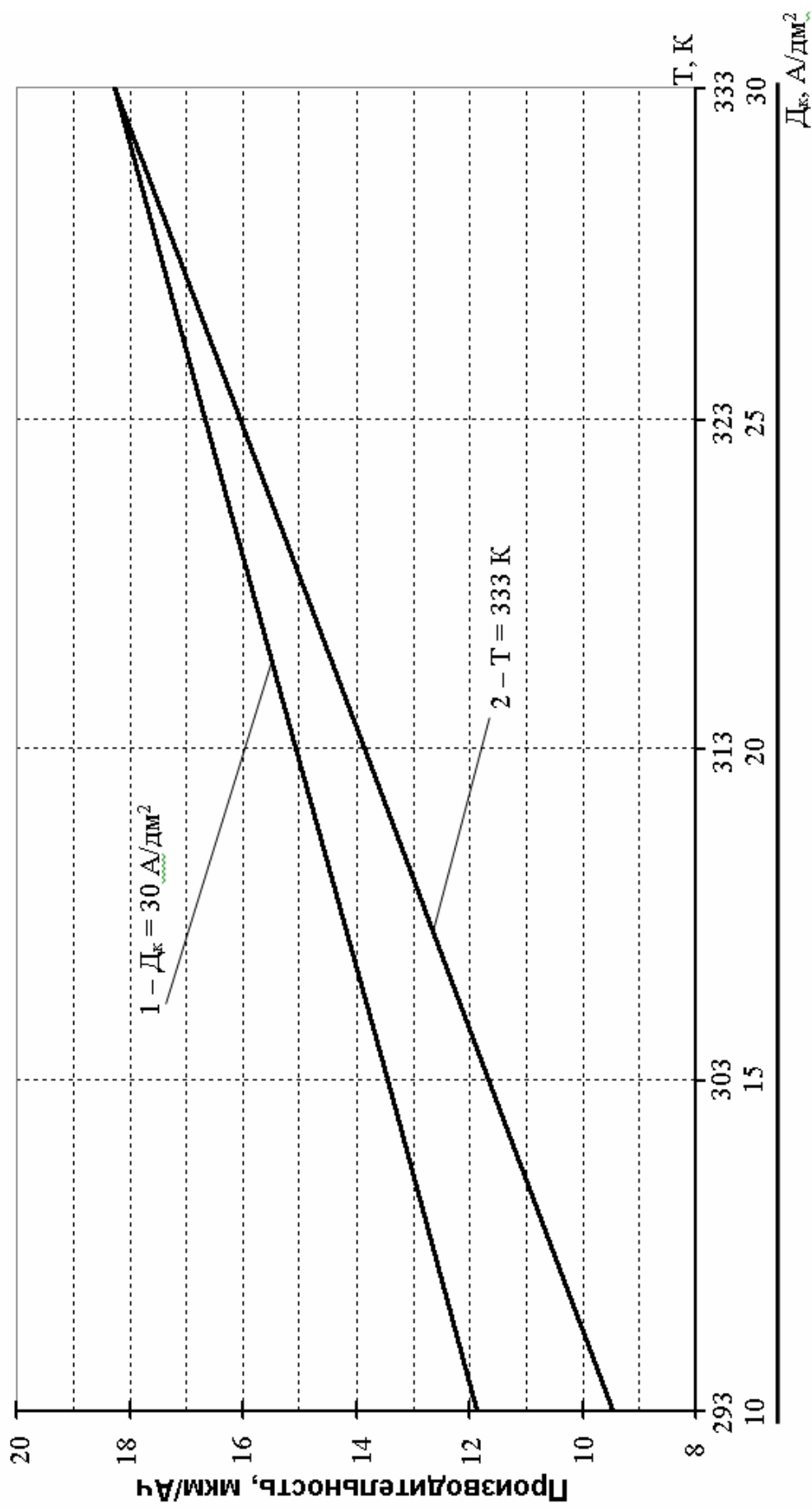


Рис. 4.12. Влияние температуры электролита (1) и катодной плотности тока (2) на производительность процесса осаждения цинкового покрытия ($V=0,3$ м/с; рН=3,5)

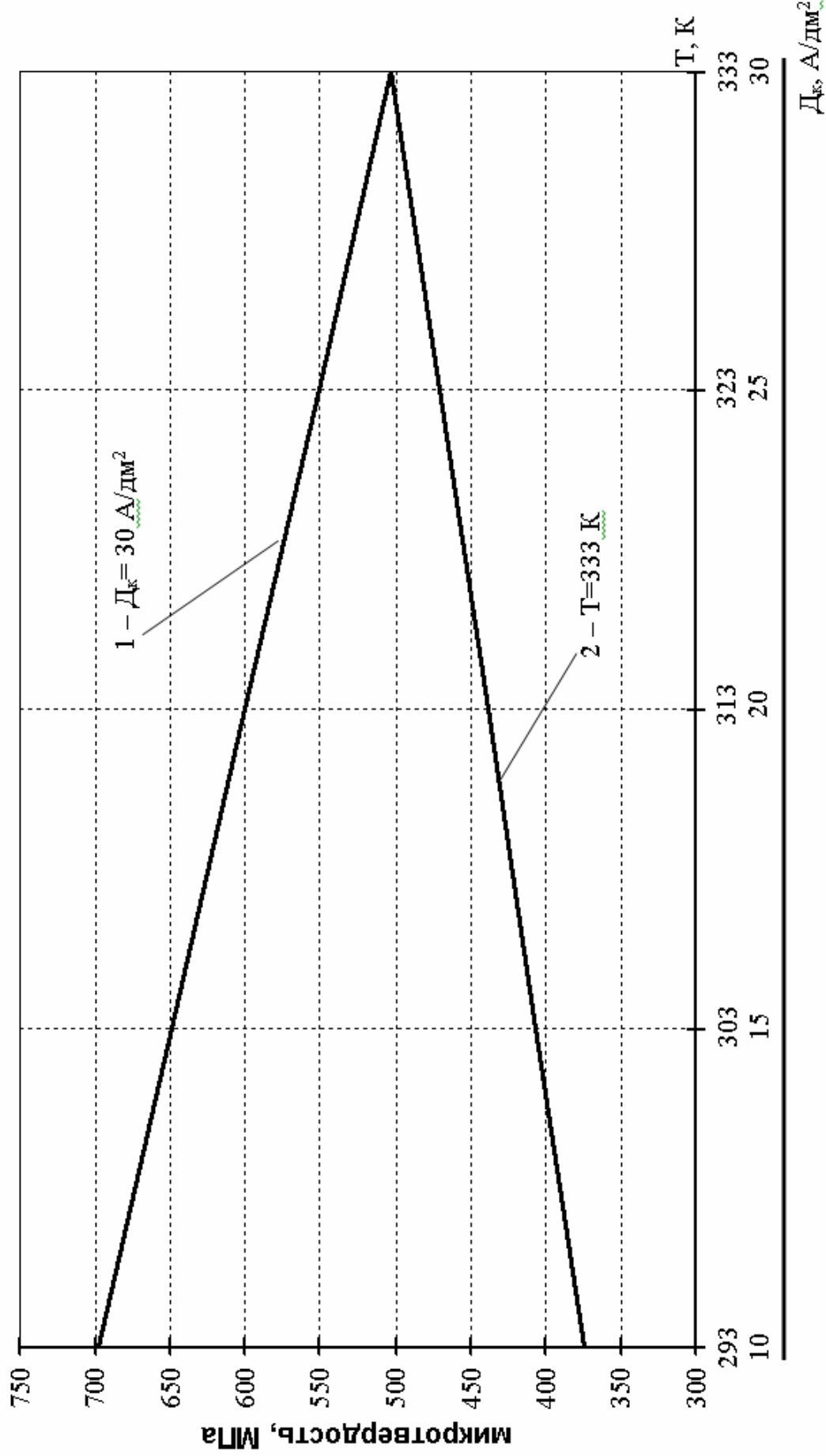


Рис. 4.13. Влияние температуры (1) электролита и катодной плотности тока (2) на микротвердость цинкового покрытия ($V=0,3 \text{ м/с}$; $pH=3,5$)

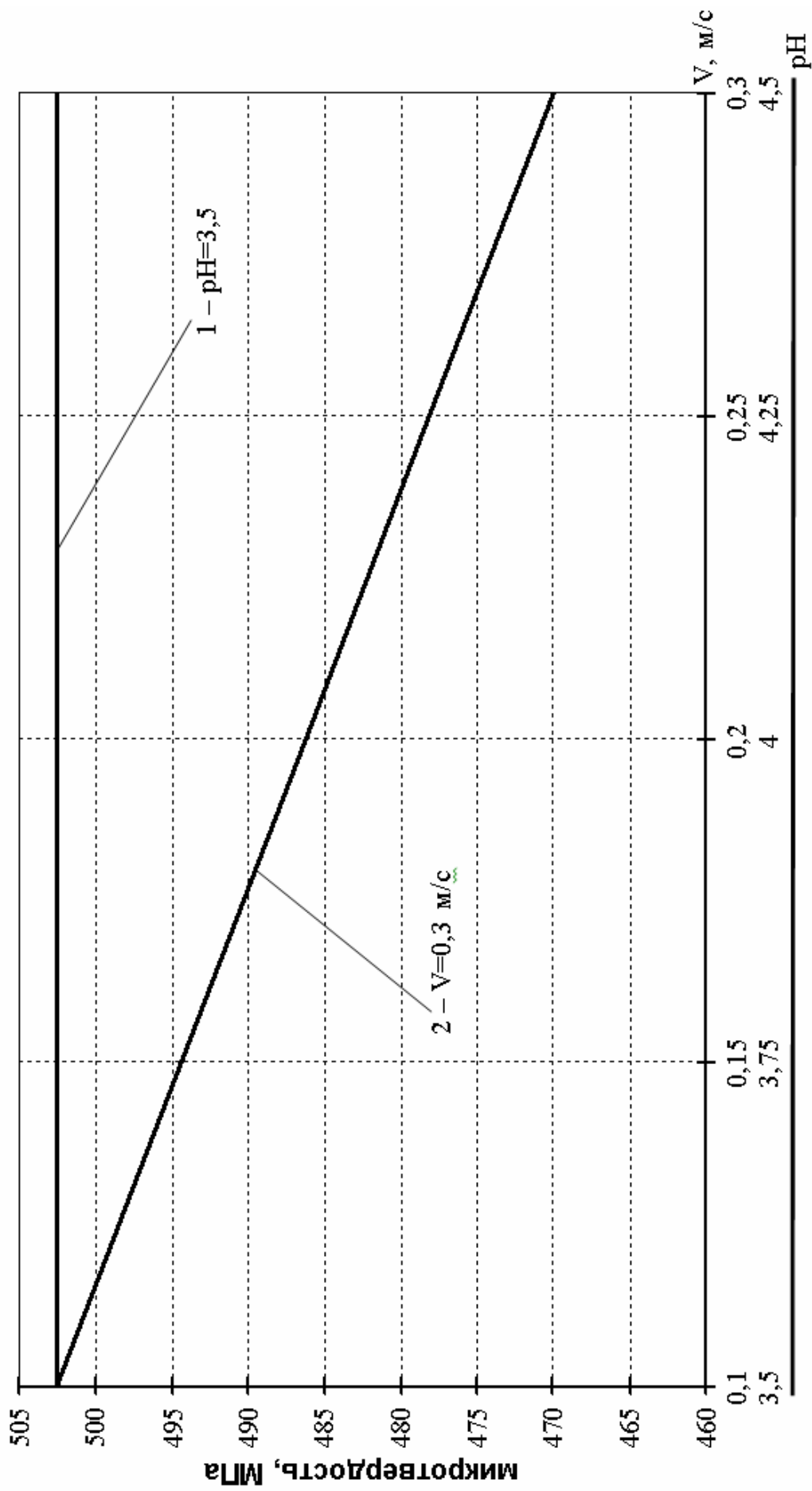


Рис. 4.14. Влияние скорости циркуляции электролита (1) и его кислотности (2) на микротвердость цинкового покрытия ($D_k=30 \text{ A/дм}^2$; $T=333 \text{ K}$)

Из уравнения регрессии (4.3) (табл. 4.6) видно, что наибольшее влияние на производительность осаждения оказывает катодная плотность тока D_k . При увеличении катодной плотности тока производительность процесса осаждения резко возрастает. Это согласуется с электрохимическими законами [6, 25, 79, 106, 107].

Производительность также повышается, если температура электролита T и скорость протекания V находятся на верхнем уровне. Это объясняется интенсификацией электрохимических процессов протекающих в электролитической ячейке из-за снижения вязкости раствора, концентрационной поляризации, пассивации катода, увеличения приповерхностной концентрации активных ионов, выхода по току, растворимости всех применяемых солей, электропроводимости, поддержания постоянной концентрации раствора у катода.

Увеличение рН электролита с 3,5 до 4,5 в нашем случае вызывает незначительное снижение производительности процесса осаждения. Это, по всей видимости, можно объяснить ингибирующим действием на электроосаждение гидроокиси, которая образуется при подщелачивании прикатодного слоя.

При анализе уравнения регрессии (4.4) (табл. 4.8) нами обнаружено, что наибольшее влияние на микротвердость покрытия оказывает температура электролита T . Немного меньшее влияние оказывает катодная плотность тока D_k и кислотность электролита. Скорость протока электролита V в исследуемом диапазоне (0,1-0,3 м/с) не оказывает влияния на микротвердость покрытия.

При увеличении температуры электролита с 293 до 333 К микротвердость гальванопокрытия уменьшается с 700 до 500 МПа. Это, скорее всего, вызвано снижением катодной поляризации и, как следствие, образованием более крупнозернистых осадков, обладающих большей пластичностью.

Повышение катодной плотности тока приводит к увеличению микротвердости гальванопокрытия. Такое действие объясняется увеличением числа активных, одновременно растущих мест поверхности катода, способствующих образованию более мелкозернистых осадков цинка.

Однако повышать плотность тока беспредельно нельзя. При очень высоких плотностях тока (близких к предельным значениям тока диффузии ионов) происходит образование рыхлых осадков в виде дендритов на краях и других выступающих местах катода или сплошной губчатой массы по всей поверхности катода. Такие осадки состоят из отдельных частиц, представляющих собой агрегаты кристаллов, непрочно

связанных друг с другом и покрываемой поверхностью. Когда деталь вынимается из электролитической ячейки, они легко отделяются от восстановленной поверхности, а иногда осыпаются с катода на дно ячейки во время электролиза. При этом возможно заполнение межэлектродного пространства металлом, что приведет к короткому замыканию.

При увеличении рН электролита с 3,5 до 4,5 микротвердость осажденного слоя незначительно уменьшается. Видимо зернистость покрытия возрастает, что объясняется преобладанием концентрационной поляризации. Кроме того, происходит нарушение сплошности осадка из-за внедрения в него гидроокисей, которые образуются в результате подщелачивания катодного слоя электролита.

Циркуляция электролита очень часто применяется с целью поддержания постоянной концентрации раствора у электродов и устранения концентрационной поляризации. Поэтому в ваннах с протоком электролита можно получать плотные гладкие мелкозернистые осадки при более высоких плотностях тока с повышенным выходом металла по току. Чем выше предполагаемая плотность тока, тем интенсивнее должна быть циркуляция электролита. Но, очевидно, что в нашем случае изменение скорости протока электролита в пределах 0,1–0,3 м/с не достаточно для проявления вышеперечисленных явлений, то есть оно не оказывает никакого влияния на микротвердость.

Для выявления действия механического активирования катодной поверхности во время осаждения гальванопокрытия нами были проведены однофакторные эксперименты, заключающиеся в проведении электрохимического нанесения цинкового покрытия при механическом активировании катодной поверхности абразивными элементами и без активирования.

Было выявлено, что при увеличении значения плотности тока выше 10 А/дм² начинался процесс дендритообразования, негативные стороны которого описаны выше. Чем выше плотность тока, тем интенсивнее образование дендритов, вплоть до очень быстрого достижения ими поверхности анода и возникновения короткого замыкания. Полученные результаты позволили практически подтвердить теоретические предположения об ингибирующем действии пассивной пленки (образующейся на катоде) на процесс осаждения, а также о том, что механическое активирование катодной поверхности способствует проведению электролитического нанесения цинковых покрытий при более высоких плотностях тока, что приводит к повышению производительности электролиза и

вполне согласуется с данными литературных источников [79, 93, 98, 99, 100, 105, 107, 114].

Анализ результатов исследований позволил нам сделать заключение об оптимальном режиме электролиза, при котором производительность процесса электрохимического осаждения и микротвердость получаемого цинкового гальванопокрытия будет наивысшей:

Скорость циркуляции электролита V , м/с	0,2-0,3
Температура электролита T , К	293-303
Катодная плотность тока D_k , А/дм ²	25-30
Кислотность электролита рН	3,5-4,5

4.6. Результаты сравнительных исследований виброгасящей способности цинкового покрытия и чугуна СЧ 18

Основываясь на пластичности цинковых покрытий, мы предположили, что они обладают более высокими виброгасящими свойствами, чем серый чугун. Согласно методике исследований, описанной в пункте 3.6, получены осциллограммы, описывающие вибрационные процессы в восстановленных узлах при различной толщине цинкового гальванопокрытия, две из которых приведены на рис. 4.15 и 4.16 осциллограммы характеризуют уровень виброускорения вибраций, возникающих в испытуемом узле.

При анализе полученных осциллограмм установили, что цинковое покрытие (в зависимости от его толщины) снижает величину виброускорения в 7-16 раз по отношению к чугуну СЧ 18.

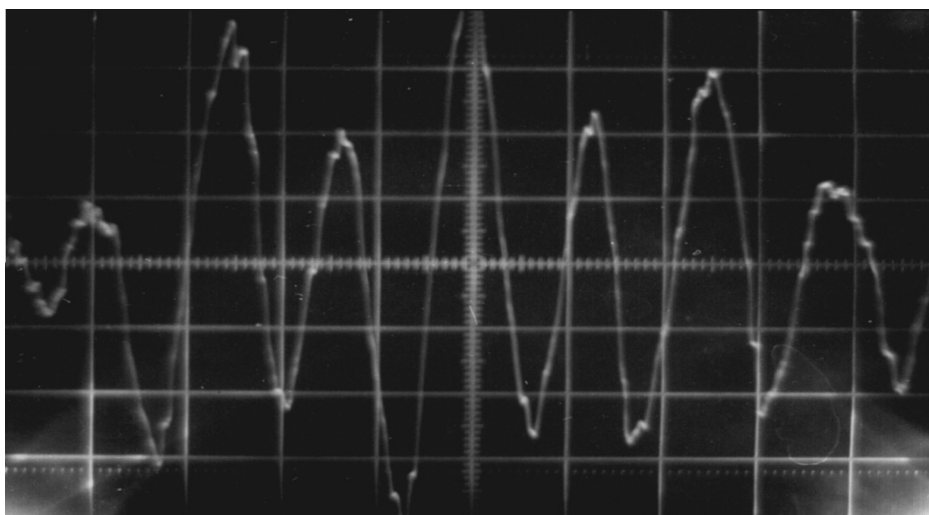


Рис. 4.15. Осциллограмма общего уровня вибраций в исследуемом узле.
Толщина цинкового гальванопокрытия $h = 0$ мкм

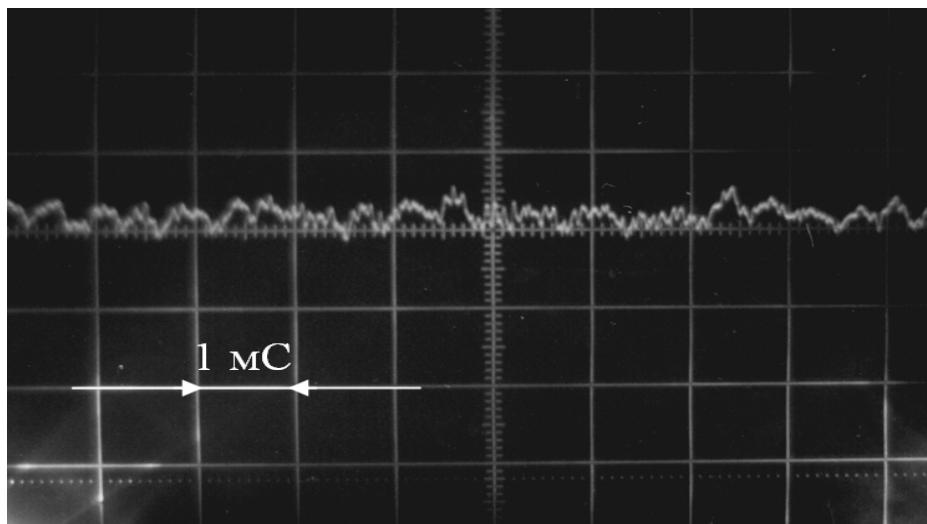


Рис. 4.16. Осциллограмма общего уровня вибраций в исследуемом узле.
Толщина цинкового гальванопокрытия $h = 0,6$ мкм

Таким образом, результаты исследований подтверждают предположения о более высоких виброгасящих свойствах цинкового покрытия по отношению к материалу корпусных деталей (чугуну СЧ 18), то есть цинк снижает величину виброускорения, отрицательное воздействие вибрации, которое более подробно рассматривалось в подразд. 3.6.

4.7. Эксплуатационные испытания

При недостаточном сцеплении цинковых покрытий с металлом детали, возможно, их отслаивание, как при последующей механической обработке, так и непосредственно на стадии эксплуатации [25, 84, 86, 102]. В последнем случае возможен аварийный износ и выход из строя восстановленного узла. Поэтому для проверки надежности деталей в плане сцепления цинкового покрытия с чугуном и его износостойкости, восстановленных по разработанной технологии, были проведены эксплуатационные испытания.

Исследования осуществляли на посадочных отверстиях трех корпусов коробки передач трактора Т-150 (№ - 150.37.101-2) и шести гнезд роликового подшипника трактора Т-4 (№ - 04.38.125), восстановленных на ОАО Ремонтный завод «Белинский». Анодное травление чугунных деталей и нанесение покрытий проводили в сернокислом электролите цинкования, состав которого и оптимальные режимы, приведены в разд. 4. Толщина покрытий составляла 0,05-0,2 мм.

Испытания восстановленных деталей проводили на тракторах и автомобилях, эксплуатирующихся в хозяйствах Пензенской области. Наблюдения за их работой вели совместно с отделом технического контроля завода. За время испытаний, с марта по октябрь 2000 года отказов и

простоев тракторов по причине выхода из строя восстановленных деталей не зарегистрировано. Контрольный осмотр, проведенный при наработке 1000 мото-часов, показал, что гальванопокрытия не имели отслоений, выкрашиваний и задигов, а размеры восстановленных отверстий находились в допустимых пределах. Детали признаны годными для дальнейшей эксплуатации, что подтверждено соответствующим актом.

Таким образом, эксплуатационные испытания подтвердили высокую прочность сцепления цинковых покрытий с чугунными деталями, восстановленными по разработанной технологии.

Выводы

1. Электрохимические исследования растворения чугуна СЧ 18 подтвердили теоретические предположения в том, что чугун в сернокислом электролите цинкования ведет себя как бычная пассивирующаяся система.

2. Наиболее стабильная пассивация чугуна обеспечивается при обработке в нециркулирующем электролите, содержащем 700 г/л сернокислого цинка при температуре 293 К и кислотности 3,5 рН.

3. Установлено, что одним из условий, необходимых для очистки поверхности от шлама является переход потенциала анода в область положительных значений (1,6-1,8 В относительно хлорсеребряного электрода сравнения).

4. Механическая активация катодной поверхности позволяет увеличить (в 2-3 раза) предельную плотность тока при осаждении цинка.

5. Получены математические зависимости прочности сцепления от режимов анодного травления чугуна и начального периода осаждения цинка (уравнения (4.1) и (4.2)).

6. Получены математические зависимости производительности процесса осаждения и микротвердости цинкового покрытия от режима электролиза (уравнения (4.3) и (4.4)).

7. Металлографические исследования и эксплуатационные испытания восстановленных корпусных деталей подтвердили высокую прочность сцепления цинковых покрытий с основой.

8. Определены режимы, которые позволяют получить при высокой производительности процесса осаждения цинковое гальванопокрытие с прочностью сцепления, приближающейся к прочности цинка на разрыв и необходимой микротвердостью:

Травление

Анодная плотность тока D_a , А/дм	25-30
Время травления τ , с	45-35

Начальный период осаждения

Время выдержки без тока τ_1 , с	20-30
Катодно-анодный показатель β_n	1,25-1,5
Начальная катодная плотность тока $D_{кн}$, А/дм ²	10-15
Температура электролита T , К	293-303
Кислотность электролита, рН	3,5-4,5
Скорость движения электролита V , м/с	0,2-0,3

Рабочий период осаждения

Катодная плотность тока D_k , А/дм ²	25-30
Температура электролита T , К	293-303
Кислотность электролита рН	3,5-4,5
Скорость циркуляции электролита V , м/с	0,2-0,3

9. Цинковые покрытия снижают в 7-16 раз величину виброускорения по отношению к чугуна СЧ-18, то есть обладают более высокими виброгасящими свойствами.

5. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

5.1. Технологические и организационные рекомендации

Предлагаемый технологический процесс электролитического проточного цинкования целесообразно применять для восстановления посадочных отверстий под подшипники чугунных корпусных деталей [7, 10, 156]. Возможно восстановление и других чугунных деталей.

Примерная номенклатура корпусных деталей, рекомендуемых для восстановления по разработанному технологическому процессу, приведена в табл. 5.1.

Т а б л и ц а 5.1

Номенклатура деталей, посадочные отверстия которых рекомендуется
восстанавливать электролитическим проточным цинкованием

Наименование детали	Номер по каталогу	Материал	Штук в машине
1	2	3	4
Т-150, Т-150 К			
Корпус коробки передач	150.37.101-2	СЧ 18	1
Корпус коробки передач	151.37.101-1	СЧ 18	1
Корпус раздаточной коробки	151.37.301-2	СЧ 15	1
Т-74, Т-75			
Корпус коробки передач	75.37.101	СЧ 15	1
Корпус коробки передач	74.37.401-1А	СЧ 18	1
Картер бортовой передачи	75.39.101	СЧ 15	2
Корпус редуктора ВОМ	75.41.301	СЧ 15	1
Корпус редуктора ВОМ	74.41.501	СЧ 15	1
Корпус подшипника	54.38.611	СЧ 15	2
ДТ-75			
Стакан подшипника	77.37.108	СЧ 15	2
Корпус подшипника	СМД14-2134-1	СЧ 15	1
Корпус конечной передачи (правый)	77.39.101А	СЧ 21	1
Корпус конечной передачи (левый)	77.39.103А	СЧ 21	1
Т-4			
Корпус коробки передач	04.37.101	СЧ 15	1
Корпус реверс редуктора	04.37.104	СЧ 15	1
Корпус заднего моста	04.38.101	СЧ 21	1
Гнездо роликового подшипника	04.38.125	СЧ 15	2
МТЗ-80, МТЗ-82			
Корпус коробки передач		СЧ 18	1
СК-4, СКД-5, СК-5, СК-6			
Корпус коробки передач	10310А	СЧ 18	1
ЗИЛ-130			
Корпус коробки передач	130-1701015	СЧ 18	1
Блок цилиндров компрессора	130-3509028	СЧ 18	1

На основе проведенных исследований и априорных данных [8, 10, 29, 83] разработан технологический процесс подготовки и восстановления посадочных отверстий корпусных деталей, состоящий из следующих операций:

1. Очистка деталей от эксплуатационных загрязнений в машинах типа ОМ–7459, АКТЬ–152, ОМ–9313, ОМ–21 613 и др. с использованием моющих растворов Лабомид – 101, Лабомид – 203, МС–15, МС–18, МС–37 при концентрации 15...20 г/л и температуре 348...353 К [6, 25].

2. Дефектация деталей. Осуществляется с целью оценки их технического состояния и определения припуска на механическую обработку.

3. Механическая обработка восстанавливаемых деталей проводится для придания отверстиям детали правильной геометрической формы, устранения непараллельности и перекоса их осей при помощи специальных станков или кондукторов, позволяющих одновременно растачивать все отверстия с одной установки детали [32, 33, 34]. Обработку проводить на расточном станке, используя резцы с твердосплавными пластинами, ВК-3 при скорости резания $V=70$ м/мин, подаче $S=0,08$ мм/об, глубине резания $t=0,1...0,4$ мм.

4. Обезжиривание покрываемых поверхностей венской известью (можно заменить отходами ацетиленового генератора). Известь наносится кистью.

5. Струйная промывка холодной водой. Для очищения поверхности детали от продуктов обезжиривания.

6. Установка детали на столе в устройство для электролитического нанесения покрытий и её герметизация.

7. Анодное электрохимическое травление. Проводится в электролите сернокислого цинка. Концентрация соли Zn_2SO_4 500-550 г/л, температура раствора 293-303 К, кислотность 3,5-4,5 рН. Анодная плотность тока 25-30 А/дм² время обработки 35-45 с [154].

8. Нанесение цинкового гальванопокрытия. Операцию проводят сразу же после окончания анодного травления без промежуточной промывки водой и с механической активацией катодной поверхности на протяжении всего процесса осаждения. В начале проводится слив электролита травления из электролитической ячейки и шлангов в ванну. Затем в нижний фланец ячейки устанавливается активирующая головка и под давлением, не менее 0,5 МПа, подается электролит для осаждения покрытия следующего состава (г/л): сернокислый цинк – 500-550; сернокислый натрий – 80-100; сернокислый алюминий (алиминиево-калиевые квасцы) – 30-50. Возможно применение электролитов сернокислого цинка другой концентрации и состава.

Режим электролитического нанесения цинкового гальванопокрытия:

время выдержки без тока τ_1 , с.....30-20;
начальная катодная плотность тока $D_{кн}$, А/дм².....10-15;

начальный катодно-анодный показатель β_n	1,5-1,25;
температура электролита, К.....	293-303;
кислотность электролита рН.....	3,5-4,5;
скорость движения электролита, м/с.....	0,2-0,3;
время выхода на рабочий режим, с.....	480;
рабочая катодная плотность тока D_k , А/дм ²	25-30.

9. Промывка восстановленных деталей в холодной воде.

10. Нейтрализация деталей в 10%-ном растворе едкого натрия.

11. Промывка в горячей воде.

12. Промывка в холодной воде.

13. При необходимости (для сильно нагруженных деталей) проводится механическая упрочняюще-калибрующая обработка осажденного цинкового покрытия жесткими шариковыми раскатниками до номинального размера. Возможна обкатывание шариком (роликом) или центробежно-шариковая обработка. При этом на 40-60 % увеличивается микротвердость при толщине наклепа до 0,8 мм.

14. Контроль качества восстановления и нанесение на покрытие консистентной смазки.

Особенность предлагаемого технологического процесса – замена анодного травления в 30%-м растворе серной кислоты анодным травлением в электролите сернокислого цинка, а также применение механического активирования катодной поверхности на всем протяжении осаждения. Внедрение этого процесса на гальванических участках, осуществляющих восстановление посадочных отверстий корпусных деталей электролитическим проточным цинкованием, не требует большой перестройки. Необходимо только заменить в ванне для анодного травления 30%-й раствор серной кислоты на раствор сернокислого цинка, дополнительно использовать активирующую головку, устанавливаемую в нижнем фланце электрохимической ячейки и насосную установку для подачи электролита. Если производится восстановление большой номенклатуры деталей, при подготовке которых нельзя обойтись без травления в 30%-м растворе серной кислоты, то дополнительно устанавливается ванна с электролитом сернокислого цинка.

Установка, позволяющая осуществлять разработанный технологический процесс электролитического проточного цинкования, проста по устройству и её можно изготовить на любом ремонтном предприятии.

Гидравлическая схема установки (рис 5.1.) включает ванну с электролитом цинкования 1, кислотостойкий насос 2 (для подачи электролитов травления и осаждения), ванну с электролитом травления 3, фильтры 4, вентили 5, трубопроводы и корпус с электролитическими ячейками 6.

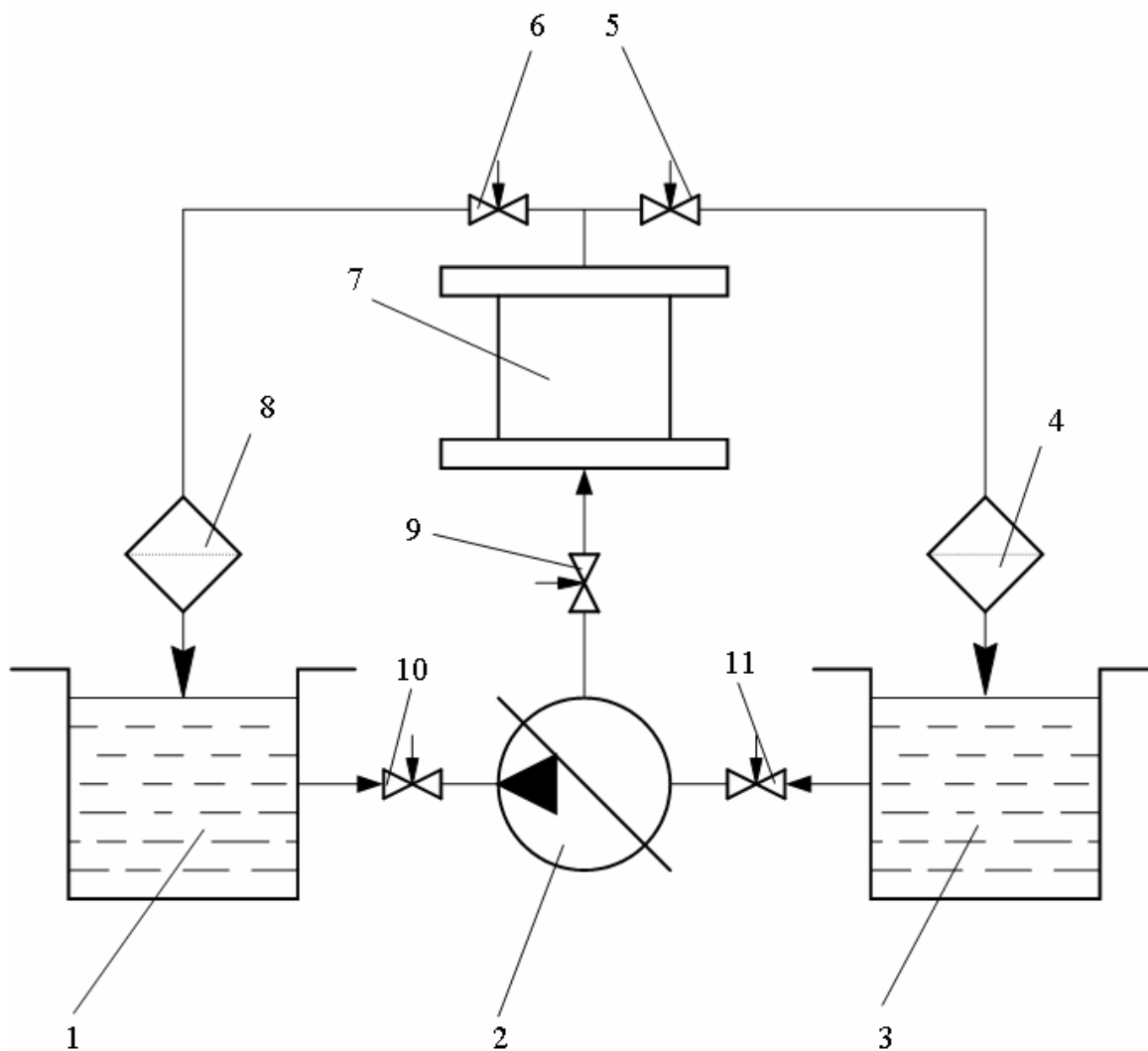


Рис. 5.1. Принципиальная гидравлическая схема установки для проточного цинкования:

- 1 – ванна с электролитом цинкования; 2 – кислотостойкий насос;
 3 – ванна с электролитом травления; 4, 8 – фильтры;
 5, 6, 9, 10, 11 – вентили регулирующие; 7 – корпус детали

В качестве кислотостойкого насоса следует использовать промышленные образцы типа ХД-1,5х-60-1-41, ЦНГ-7 и другие. Вентили следует применять шланговые с вкладышем из фторопласта-4 П26297. Допустимо использовать и электромагнитные вентили типа СВА, СВМ, заменив резиновые прокладки и уплотнители на фторопластовые. Применение электромагнитных вентилях позволяет механизировать процесс их открывания и закрывания. Схема движения электролитов может быть выполнена из полиэтиленовых, винилпластовых или резиновых шлангов. Включенные в схему фильтры следует изготавливать самостоятельно (рис.3.9). В качестве ванн для электролитов можно использовать полиэтиленовые бачки емкостью 20-30 литров.

Установка работает следующим образом. В электролитические ячейки корпуса подают при помощи кислотостойкого гидравлического насоса 2 электролит травления из ванны 3 при открытых 5, 9, 11 и закрытых 6, 10 вентилях (рис 5.1). После заполнения ячеек электролитом выключают насос 2, перекрывают вентили 5 и 9, подводят напряжение и осуществляют травление. По окончании травления открывают вентили 9 и 5, включают насос 2, прокачивают электролит травления через ячейку. Затем, выключив насос 2, осуществляют слив электролита травления обратно в емкость 3. Далее, в электролитические ячейки устанавливаются активирующие головки, закрывают вентили 5, 11, открывают 6, 10 и электролит цинкования насосом 2 под давлением не менее 0,05 МПа подают из ванны 1 в электролитические ячейки корпуса 7. Подводят напряжение и осуществляют процесс нанесения покрытия на посадочные отверстия. Использование электролита сернокислого цинка во всей схеме технологического процесса позволяет повысить его надежность.

Определенное значение имеют способы герметизации обрабатываемых поверхностей [158]. Наиболее приемлемым является герметизация каждого посадочного отверстия корпусной детали с образованием при этом индивидуальных электролитических ячеек (рис 5.2).

Условия электролиза при этом удается максимально приблизить к условиям при проведении лабораторных исследований. Центральный подвод и отвод электролита, а также его турбулентное движение обеспечивает равные гидродинамические условия по периметру посадочного отверстия, что способствует более равномерному распределению металла.

Герметизацию можно осуществлять путем оказания прижимающего воздействия на плиту 10 при помощи разнообразных устройств (пресс, гидроцилиндр, винтовая пара, струбцина и т.д.). То есть корпус коробки передач 4 с установленными ячейками на посадочные отверстия, располагают на опорной плите 1. Затем сверху устанавливают прижимную плиту 10 и прилагают к ней усилие, необходимое для герметизации устройства. В качестве источников питания можно использовать преобразователи тока на основе выпрямительных агрегатов ВАКГ–12/6–630 или аналогичных.

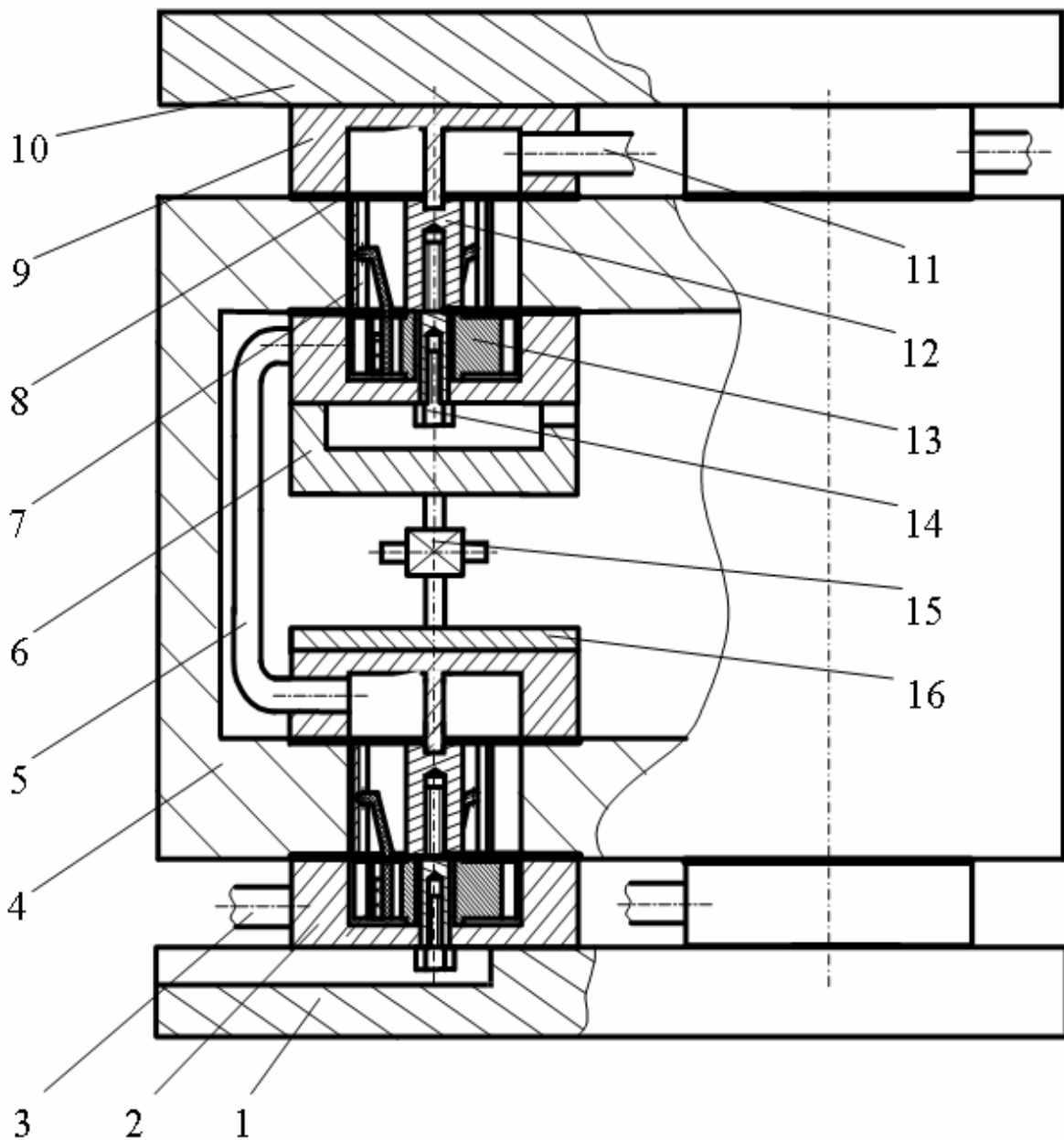


Рис. 5.2. Схема расположения электролитических ячеек на посадочных отверстиях корпуса коробки передач:
 1 – плита опорная; 2 – фланец нижний; 3 – штуцер подводящий; 4 – корпус коробки передач; 5 – шланг соединительный; 6 – стакан; 7 – активирующий элемент; 8 – прокладка уплотнительная; 9 – фланец верхний; 10 – плита прижимная; 11 – штуцер отводящий; 12 – анод; 13 – крыльчатка; 14 – токоподвод; 15 – муфта распорная; 16 – пластина прижимная

5.2. Расчет экономической эффективности использования разработанных рекомендаций

5.2.1. Определение затрат на конструкторскую разработку

Так как работы по изготовлению конструкторской разработки (устройства для электрохимического нанесения покрытий) выполняются на том же участке, для которого она предназначена, то затраты на изготовление конструкции с учетом всех расходов составляют [25, 159, 160, 161, 162] (в ценах 2001 года):

$$C_{ц. \text{кон}} = C_{к.д} + C_{о.д} + C_{п.д} + Z_{п} + C_{в.м} + N_{оп}, \quad (5.1)$$

где $C_{ц. \text{кон}}$ – стоимость изготовления конструкции, руб.;

$C_{к.д}$ – стоимость изготовления корпусных деталей, руб.;

$C_{о.д}$ – затраты на изготовление оригинальных деталей, руб.;

$C_{п.д}$ – цена покупных деталей, руб.;

$Z_{п}$ – оплата труда производственных рабочих, занятых на изготовлении и сборке конструкции, руб.;

$C_{в.м}$ – стоимость вспомогательных материалов (2...4 % от затрат на основные материалы), руб.;

$N_{оп}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, руб.

Затраты на изготовление корпусных деталей, руб.:

$$C_{к.д} = C_{м.к} + Z_{п.к}, \quad (5.2)$$

где $C_{м.к}$ – стоимость материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, руб.;

$Z_{п.к}$ – заработная плата (с начислениями) производственных рабочих, занятых на изготовлении корпусных деталей, руб.;

$$C_{м.к} = C_{з.к} \times M_{к.д}, \quad (5.3)$$

где $M_{к.д}$ – масса заготовки, кг;

$C_{з.к}$ – цена 1 кг материала (готовых деталей), руб. [155, 156];

$$M_{к.д} = 2 \text{ кг}; C_{з.к} = 15,3 \text{ руб.}$$

$$C_{м.к} = 2 \times 15,3 = 30,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{п.к} = Z_{о.к} + Z_{д.к} + C_{соц.к}, \quad (5.4)$$

где $Z_{о.к}$, $Z_{д.к}$ – основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих, руб.;

$C_{соц.к}$ – начисления на социальные нужды, руб.

$$Z_{о.к} = T_{изг.к} \times C_{ч}, \quad (5.5)$$

где $T_{изг.к}$ – средняя трудоемкость изготовления корпусных или оригинальных деталей [160, 161], чел.-ч, $T_{изг.к} = 3,6$ чел.-ч;

$C_{\text{ч}}$ – часовая ставка рабочих, исчисляемая по среднему разряду, руб./ч [160], $C_{\text{ч}} = 1,6$ руб./ч;

$$Z_{\text{о.к}} = 3,6 \times 1,6 = 5,76 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата, руб.;

$$Z_{\text{д.к}} = (K_{\text{д}} - 1) \times Z_{\text{о.к}}, \quad (5.6)$$

где $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, равный 1,125...1,130 [160].

$$Z_{\text{д.к}} = (1,13 - 1) \times 5,76 = 0,74 \text{ руб.}$$

Начисления на социальные нужды, руб.:

$$C_{\text{соц.к}} = R_{\text{соц}} \times (Z_{\text{о.к}} + Z_{\text{д.к}}) / 100, \quad (5.7)$$

где $R_{\text{соц}} = 39,0\%$ – процент начислений на социальные нужды, %.

$$C_{\text{соц.к}} = 39 \times (5,76 + 0,74) / 100 = 2,5 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{п.к}} = 5,76 + 0,74 + 2,5 = 9 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{к.д}} = 30,6 + 9 = 39,6 \text{ руб.}$$

Затраты на изготовление оригинальных деталей:

$$C_{\text{о.д}} = Z_{\text{п.о}} + C_{\text{м.о}}, \quad (5.8)$$

где $Z_{\text{п.о}}$ – заработная плата производственных рабочих, руб.;

$C_{\text{м.о}}$ – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, руб.

$$C_{\text{м.о}} = M_{\text{з.о}} \times Ц_{\text{з.о}}, \quad (5.9)$$

где $M_{\text{з.о}}$ – масса заготовок для изготовления оригинальных деталей, кг;

$Ц_{\text{з.о}}$ – цена килограмма заготовки для изготовления оригинальных деталей, руб.

$$M_{\text{з.о}} = 4,6 \text{ кг}; \quad Ц_{\text{з.о}} = 13,1 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{м.о}} = 4,6 \times 13,1 = 60,2 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату труда рабочих при изготовлении оригинальных деталей, руб.:

$$Z_{\text{п.о}} = Z_{\text{о.о}} + Z_{\text{д.о}} + C_{\text{соц.о}}, \quad (5.10)$$

где $Z_{\text{о.о}}$ и $Z_{\text{д.о}}$ – основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих, руб.;

$C_{\text{соц.о}}$ – начисления на социальные нужды, руб.

$$Z_{\text{о.о}} = T_{\text{изг.о}} \times C_{\text{ч}}, \quad (5.11)$$

где $T_{\text{изг.о}}$ – средняя трудоемкость изготовления корпусных или оригинальных деталей [160, 163, 164], чел.-ч, $T_{\text{изг.о}} = 20$ чел.-ч;

$C_{\text{ч}}$ – часовая ставка рабочих, исчисляемая по среднему разряду, руб./ч ($C_{\text{ч}} = 1,6$ руб./ч [160]).

$$Z_{\text{o.o}} = 20 \times 1,6 = 32 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата, руб.;

$$Z_{\text{д.o}} = (K_{\text{д}} - 1) \times Z_{\text{o.o}}, \quad (5.12)$$

где $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, равный 1,125...1,130 [160].

$$Z_{\text{д.o}} = (1,13 - 1) \times 32 = 4,16 \text{ руб.}$$

Начисления на социальные нужды, руб.:

$$C_{\text{соц.o}} = R_{\text{соц}} \times (Z_{\text{o.o}} + Z_{\text{д.o}}) / 100, \quad (5.13)$$

где $R_{\text{соц}} = 39,0\%$ – процент начислений на социальные нужды, %.

$$C_{\text{соц.o}} = 39 \times (32 + 4,16) / 100 = 14 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{п.o}} = 32 + 4,16 + 14 = 50,16 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{o.д}} = 60,2 + 50,16 = 110,36 \text{ руб.}$$

Стоимость покупных деталей берется по рыночным ценам (руб.), действующим в данный момент.

$$C_{\text{п.д}} = 880 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату труда производственных рабочих, занятых на сборке конструкции, рассчитываются аналогично оплате на изготовлении.

$$Z_{\text{п.сб}} = Z_{\text{o.сб}} + Z_{\text{д.сб}} + C_{\text{соц.сб}}, \quad (5.14)$$

Основная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке конструкции, руб.:

$$Z_{\text{o.сб}} = T_{\text{сб}} \times C_{\text{ч}}, \quad (5.15)$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка, исчисляемая по 4 разряду для повременных работ, руб./ч, $C_{\text{ч}} = 1,4$ руб./ч [160];

$T_{\text{сб}}$ – нормативную трудоемкость сборки элементов конструкции (чел.-ч) находят из выражения:

$$T_{\text{сб}} = K_{\text{с}} \times t_{\text{сб}}, \quad (5.16)$$

где $K_{\text{с}} = 1,08$ – коэффициент, учитывающий соотношение между полным и оперативным временем сборки;

$t_{\text{сб}}$ – суммарная трудоемкость сборки, чел.-ч, $t_{\text{сб}} = 7$ чел.-ч:

$$T_{\text{сб}} = 1,08 \times 7 = 7,56 \text{ чел.-ч};$$

$$Z_{\text{o.сб}} = 7,56 \times 1,4 = 10,58 \text{ руб.};$$

$$\begin{aligned}
Z_{\text{д.сб}} &= (1,13 - 1) \times 10,58 = 1,38 \text{ руб.}; \\
C_{\text{соц.сб}} &= 39 \times (10,58 + 1,38)/100 = 4,66 \text{ руб.}; \\
Z_{\text{п.сб}} &= 10,58 + 1,38 + 4,66 = 16,62 \text{ руб.}
\end{aligned}$$

Затраты на вспомогательные материалы принимаются равными 2...4 % от затрат на основные материалы:

$$\begin{aligned}
C_{\text{в.м}} &= 4 \times (C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{п.д}})/100, \\
C_{\text{в.м}} &= 4 \times (39,6 + 110,36 + 880)/100 = 41,2 \text{ руб.}
\end{aligned} \tag{5.17}$$

Общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, руб.:

$$N_{\text{оп}} = 0,01 \times Z_{\text{п}} \times R_{\text{оп}}, \tag{5.18}$$

где $Z_{\text{п}}$ – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении конструкции (включая сборку), руб.;
 $R_{\text{оп}}$ – процент общепроизводственных расходов ($R_{\text{оп}}=142\%$);

$$N_{\text{оп}} = 0,01 \times (9 + 50,16 + 16,62) \times 142 = 107,6 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на изготовление конструкции будут равны:

$$C_{\text{ц.кон}} = 39,6 + 110,36 + 880 + 16,62 + 41,2 + 107,6 = 1195,4 \text{ руб.}$$

5.2.2. Расчет себестоимости восстановления 1 дм² поверхности

Себестоимость восстановления единицы поверхности определяется как [25, 163, 164]:

$$C = C_{\text{м}} + C_{\text{э}} + C_{\text{з}} + A + \text{НР}, \tag{5.19}$$

где $C_{\text{м}}$ – затраты на материалы и сырье, руб./дм²;
 $C_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию, руб./дм²;
 $C_{\text{з}}$ – затраты на заработную плату производственных рабочих, руб./дм²;
 A – амортизационные отчисления, руб./дм²;
 НР – накладные расходы, без учета не изменяющихся статей, руб./дм².

Так как $\text{НР}_1 = \text{НР}_2$ и $C_{\text{э}1} = C_{\text{э}2}$, то при расчете мы их не учитываем.

Стоимость материалов, расходуемых при восстановлении 1 дм² поверхности посадочного отверстия проточным цинкованием, определяли согласно существующих норм расхода и их цены [25, 78, 165].

Результаты расчета приведены в табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5.2

Стоимость материалов,
расходуемых при восстановлении 1 дм² поверхности детали

Наименование материала	Стоимость, руб./дм ²	
	Базовый	Разработанный
1. Цинк серноокислый	10,5	10,5
2. Натрий серноокислый	2,8	2,8
3. Алюминий серноокислый	1,35	1,35
4. Цинк	0,007	0,007
5. Вода	0,81	0,81
6. Едкий натр	0,5	0,5
7. Тринатрийфасфат	0,63	0,63
8. Жидкое стекло	0,006	0,006
9. Сода кальцинированная	1,14	1,14
10. Кислота серная	6,4	–
ИТОГО:	24,14	17,74

Технологическое основное время цинкования определяется по формуле [25, 78, 160, 161]:

$$T_{ц.о} = 10 \times h \times v / (D_{к} \times \varepsilon \times \eta), \quad (5.23)$$

где h – толщина цинкового покрытия ($h = 0,5$ мм);

v – плотность цинка ($v = 7,1$ г/см³);

$D_{к1}, D_{к2}$ – катодная плотность тока (по базовому и разработанному вариантам) ($D_{к1} = 10$ а/дм², $D_{к2} = 30$ а/дм²);

ε – электрохимический эквивалент ($\varepsilon = 1,22$ г/(А × ч));

η – катодный выход по току ($\eta = 96$ %).

$$T_{ц.о.1} = 10 \times 0,5 \times 7,1 / (10 \times 1,22 \times 0,96) = 3 \text{ ч} = 180 \text{ мин};$$

$$T_{ц.о.2} = 10 \times 0,5 \times 7,1 / (30 \times 1,22 \times 0,96) = 1 \text{ ч} = 60 \text{ мин}.$$

Вспомогательное (не перекрываемое) и основное время определяется по табл. 5.3. и составляет:

$$T_{в.н.1} = 44 \text{ мин}; T_{в.н.2} = 50 \text{ мин}; T_{о.1} = 219,5 \text{ мин}; T_{о.2} = 99,5 \text{ мин}.$$

Тогда норма времени по существующей и разработанной технологии составит:

$$T_{н1} = (219,5 + 44 + 4,33 \times 1,12) / (2,5 \times 0,8) = 2,66 \text{ мин} = 4,43 \text{ ч};$$

$$T_{н2} = (99,5 + 50 + 4,33 \times 1,12) / (2,5 \times 0,8) = 77 \text{ мин} = 1,28 \text{ ч}.$$

Отсюда:

$$C_{з.осн. 1} = 4,43 \times 2,392 \times 1,03 = 10,9 \text{ руб.};$$

$$C_{з.осн. 2} = 1,28 \times 2,392 \times 1,03 = 3,15 \text{ руб.}$$

Таблица 5.3

Схема технологического процесса

№ п/п	Операции	Время, мин.			
		Базовый		Разработ.	
		основное	вспомогательное	основное	вспомогательное
1	Очистка детали от эксплуатационных загрязнений	10,0	–	10,0	–
2	Электрохимическое обезжиривание	12,0	–	12,0	–
3	Промывка горячей водой	3,0	–	3,0	–
4	Промывка холодной водой	2,0	–	2,0	–
5	Монтаж на деталь электрохимических ячеек	–	8,0	–	8,0
6	Установка детали на столе, герметизация и подвод токоподводящих проводов	–	5,0	–	5,0
7	Травление в 30%-м растворе серной кислоты	1,5	–	–	–
8	Травление в сернокислом электролите цинкования	–	–	1,5	–
9	Промывка ячеек, распределителей, шлангов холодной водой	–	4,0	–	–
10	Установка активирующей головки	–	–	–	10,0
11	Подача сернокислого электролита цинкования и выход на режим	–	10,0	–	10,0
12	Цинкование до требуемой толщины покрытия	180,0	–	60,0	–
13	Промывка ячеек, распределителей, шлангов холодной водой	–	4,0	–	4,0
14	Демонтаж электрохимических ячеек	–	8,0	–	8,0
15	Снятие детали со стола, разгерметизация и отвод токоподводящих проводов	–	5,0	–	5,0
16	Нейтрализация детали	5,0	–	5,0	–
17	Промывка горячей водой	3,0	–	3,0	–
18	Промывка холодной водой	2,0	–	2,0	–
19	Нанесение на поверхность покрытия слоя консистентной смазки	1,0	–	1,0	–
ИТОГО:		219,5	44,0	99,5	50,0

Дополнительная заработная плата составит:

$$C_{з.доп} = C_{з.осн} \times (K_{доп} - 1), \quad (5.24)$$

где $K_{доп}$ – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, равный 1,125...1,130 [160];

$$C_{з,доп 1} = 10,9 \times (1,130 - 1) = 1,42 \text{ руб.};$$

$$C_{з,доп 2} = 3,15 \times (1,130 - 1) = 0,4 \text{ руб.}$$

Начисления на социальные нужды:

$$H_{с.с} = R_{соц} \times (C_{з,осн} + C_{з,доп})/100, \quad (5.25)$$

где $R_{соц} = 39\%$ – процент начислений на социальные нужды;

$$H_{с.с.1} = 39 \times (10,9 + 1,42)/100 = 4,8 \text{ руб.};$$

$$H_{с.с.2} = 39 \times (3,15 + 0,4)/100 = 1,38 \text{ руб.}$$

Таким образом:

$$C_{з.1} = 10,9 + 1,42 + 4,8 = 17,12 \text{ руб.};$$

$$C_{з.2} = 3,15 + 0,4 + 1,38 = 4,93 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию оборудования определяются по формуле

$$A = K_{в} \times a / (100 \times N_{г}), \text{ руб./дм}^2, \quad (5.26)$$

где $K_{в}$ – капитальные вложения, руб.;

a – норма годовых амортизационных отчислений, %;

$N_{г}$ – годовая производительность, дм^2 .

$K_{в1} = 1000$ руб.; $K_{в2} = 1195,4$ руб.; $a = 24\%$ [160, 1561]; $N_{г} = 2000$ дм^2 ;

$$A_1 = 1000 \times 24 / (100 \times 2000) = 0,12 \text{ руб./дм}^2;$$

$$A_2 = 1195,4 \times 24 / (100 \times 2000) = 0,14 \text{ руб./дм}^2.$$

Таким образом, себестоимость восстановления 1 дм^2 будет равна:

$$C_1 = 24,14 + 17,12 + 0,12 = 41,38 \text{ руб./дм}^2;$$

$$C_2 = 17,74 + 4,93 + 0,14 = 22,81 \text{ руб./дм}^2.$$

5.2.3. Расчет годового экономического эффекта от разработанных рекомендаций

Расчет проведен применительно к восстановлению посадочных отверстий, корпусных деталей трактора Т–150 и Т–4 (корпус коробки передач, картер редуктора заднего моста, ступицы колес и др.) в ценах 2001-го года.

Годовая программа составляет 2000 дм^2 .

Годовой экономический эффект от внедрения разработанных рекомендаций определяется по формуле [25, 80, 160, 161]:

$$\Theta_{г} = \left[(C_1 + E_{н} \cdot K_1) \frac{P_1 + E_{н}}{P_2 + E_{н}} - (C_2 + E_{н} \cdot K_2) \right] \cdot A_{г} \quad (5.27)$$

где C_1 и C_2 – себестоимость восстановления единицы поверхности соответственно по базовому и новому вариантам, руб./дм²;

K_1 и K_2 – удельные капитальные вложения на приобретение и установку ремонтно-технологического оборудования по базовому и новому вариантам, руб./дм²;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n=0,15$);

P_1 и P_2 – величины, обратные срокам службы детали, восстановленной по базовому и новому вариантам;

A_r – годовой объём восстановления деталей по новому варианту в расчетном году, дм².

За базовый вариант принят технологический процесс электролитического проточного цинкования с травлением детали в 30%-м растворе серной кислоты. При одинаковом сроке службы деталей, восстановленных по базовому и новому вариантам, что имеет место в нашем случае, справедливо выражение:

$$\frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} = 1, \quad (5.28)$$

тогда формула (5.27) принимает вид

$$\mathcal{E}_r = [(C_1 - C_2) + E_n (P_1 - P_2)] \cdot A_r \quad (5.29)$$

При травлении чугуна СЧ 18 в 30%-м растворе серной кислоты и сернокислом электролите цинкования средний процент брака по сцепляемости составлял соответственно 9 и 2 %.

Поэтому при цинковании по разработанной технологии увеличится выпуск годной продукции, а удельные капитальные вложения возрастут незначительно и определяются из выражения:

$$K_1 = (1000/2000) = 0,5 \text{ руб./дм}^2; K_2 = 1195,4/2000 = 0,59 \text{ руб./дм}^2.$$

$$\mathcal{E}_r = [(41,38 - 22,81) + 0,15 \times (0,5 - 0,59)] \times 2000 = 37113 \text{ руб.}$$

Таким образом, годовой экономический эффект от внедрения разработанных рекомендаций при программе восстановления деталей с площадью 2000 дм² составит 37113 руб.

Т а б л и ц а 5.4

Технико-экономические показатели использования
разработанных рекомендаций

№ п/п	Показатели	Существующая технология	Разработанная технология
1	Годовая программа, дм ²	2000,0	2000,0
2	Капитальные вложения (затраты на изготовление установки), руб.	1000,0	1195,4
3	Удельные капитальные вложения, руб./дм ²	0,50	0,59
4	Себестоимость восстановления 1 дм ² поверхности детали, руб./дм ²	41,38	22,81
	в том числе по статьям:		
	– материалы	24,14	17,74
	– заработная плата	17,12	4,93
	– амортизация оборудования	0,12	0,14
5	Годовой экономический эффект, руб.	–	37113

Выводы

1. На основании проведенных исследований разработаны технологические и организационные рекомендации по восстановлению посадочных отверстий чугунных корпусных деталей электролитическим проточным цинкованием.

2. Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии при годовой программе восстановления деталей с площадью 2000 дм² составит 37113 рублей (в ценах 2001 года).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из эффективных методов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей машин является проточное цинкование, которое не получило широкого распространения ввиду малой производительности процесса осаждения и нестабильных результатов по прочности сцепления покрытия с основой. Технологический процесс гальванического осаждения цинка из сернокислых электролитов имеет свои особенности и нуждается в совершенствовании.

Для получения качественных, прочно сцепляющихся цинковых гальванопокрытий (прочность сцепления равна прочности цинка на разрыв – 70 МПа), необходимо при проведении операции анодного травления обеспечить переход потенциала электрода в область положительных значений (1,6-1,8 В относительно хлорсеребряного электрода сравнения).

На основании анализа полученных математических зависимостей определены рациональные режимы анодной обработки, начального и рабочего периодов осаждения, которые позволяют получить при высокой производительности процесса осаждения цинковое гальванопокрытие с прочностью сцепления равной прочности цинка на разрыв (70 МПа) и достаточной микротвердостью:

Травление: анодная плотность тока D_a 25-30 А/дм²; время травления τ 45-35 с.

Начальный период осаждения: время выдержки без тока τ_1 20-30 с; катодно-анодный показатель β_n 1,25-1,5; начальная катодная плотность тока $D_{кн}$ 10-15 А/дм²; температура электролита T 293-303 К; кислотность электролита 3,5-4,5 рН; скорость движения электролита V 0,2-0,3 м/с.

Рабочий период осаждения: катодная плотность тока D_k 25-30 А/дм²; температура электролита T 293-303 К; кислотность электролита 3,5-4,5 рН; скорость циркуляции электролита V 0,2-0,3 м/с.

Цинковые гальванопокрытия снижают в 7-16 раз величину виброускорения по отношению к чугуна СЧ 18, то есть обладают более высокими виброгасящими свойствами.

Эксплуатационные испытания и металлографические исследования подтвердили высокую прочность сцепления цинковых покрытий с чугунными корпусными деталями, восстановленными по разработанной технологии.

На основании проведенных исследований разработаны технологические и организационные рекомендации по восстановлению посадочных отверстий чугунных корпусных деталей электролитическим проточным цинкованием в сернокислом электролите с механической активацией катодной поверхности. Годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии при годовой программе восстановления деталей с площадью 2000 дм² составит 37113 рублей (в ценах 2001 года).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спицын, И.А. Новые технологические процессы восстановления деталей гальваническими покрытиями [Текст] / И.А. Спицын, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 48 с.

2. Черноиванов, В.И. Восстановление техники – приоритетная задача сельхозмашиностроения и ремонтной базы АПК [Текст] / В.И. Черноиванов // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 6. – с.9.

3. Лялякин, В.П. Вторая жизнь изношенных деталей [Текст] / В.П. Лялякин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1992. – №7-8. – с.36.

4. Клоц, М.У. Охрана окружающей среды и нейтрализация сточных вод гальванического производства [Текст] / М.У. Клоц // В кн.: Повышение качества и надежности гальванических покрытий. – Л.: ЛДНТП, 1978. – с.23-29.

5. Ласкорин, Б.Н. Проблемы развития безотходных производств [Текст] / Б.Н. Ласкорин. – М.: Стройиздат, 1981. – 207 с.

6. Курчаткин, В.В. Надежность и ремонт машин [Текст] / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов. – М.: Колос, 2000 – 776 с.

7. Кравчик, Р. Восстановление деталей на предприятиях технического обслуживания сельского хозяйства [Текст] / Р. Кравчик // тезисы докладов научно-технической конференции «Ремдеталь-88». – Ч.2. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – с.44.

8. Технология восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей трансмиссии тракторов [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1980.–19 с.

9. Нилов, Н.И. Особенности технологии изготовления корпусных деталей машин в машиностроительном производстве АПК [Текст] / Н.И. Нилов // учеб. пособие. – М.: ВИПК Минсельхоза РФ, 1992. – 24 с.

10. Методические рекомендации по восстановлению посадочных отверстий корпусных деталей [Текст]. – М.: ЦБНТИ, 1985. – 18 с.

11. Ремонт чугунных корпусных деталей тракторов [Текст]. – М.: Колос, 1969. – 126 с.

12. Батищев, А.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники [Текст] / А.Н. Батищев, И.Г. Голубев, В.П. Лялякин. – М.: Информагротех, 1995. – 296 с.

13. Поляков, А. Восстановление корпусных деталей [Текст] / А. Поляков, А. Перминов // Автомобильный транспорт. – 1981. – №2. – С.37.

14. Ремонт чугунных корпусных деталей тракторов [Текст]. – М.: Колос, 1969. – 127 с.

15. Усков, В.П. Ремонт блока цилиндров с аварийно изношенными коренными опорами [Текст] / В.П. Усков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. – №7. – С.28.

16. Дунаев, А.В. Исследование и обоснование допустимых при капитальном ремонте размеров посадочных гнезд корпуса коробки передач трактора класса 3 т.с. [Текст]: дис. ... канд. тех. наук / А.В. Дунаев. – М., 1976. – 234 с.

17. Кузнецова, С.А. Несоосность коренных опор блока двигателя ЯМЗ–238НБ и ее допустимое значение при капитальном ремонте [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.А. Кузнецова. – Ленинград, 1984. – 17 с.

18. Лопоян, Ю.Н. Восстановление коренных подшипников двигателя [Текст] / Ю.Н. Лопоян, М.В. Сушкевич // Техника в сельском хозяйстве. – 1963. – № 5. – С.65.

19. Умбетов, Б.Х. Повышение долговечности отремонтированных коробок передач тракторов «Кировец» путем оптимизации зазоров в подшипниках ведущего вала [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.Х. Умбетов. – Ленинград, 1991. – 17 с.

20. Петросян, Д.П. Повышение работоспособности корпусных деталей гусеничных тракторов, работающих в горных условиях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.П. Петросян. – Тбилиси, 1990. – 17 с.

21. Поляков, М. Восстановление картера коробки передач ГАЗ–53А [Текст] / М. Поляков, В. Кривошеев, А. Сигаев // Автомобильный транспорт. – 1985. – №2. – с.38.

22. Курчаткин, В.В. Восстановление посадочных мест под подшипники картеров коробок перемены передач (КПП) автомобиля ЗИЛ–130 герметиком 6Ф [Текст] / В.В. Курчаткин, А.Г. Шубин, Л.Л. Чижевский // Сб. науч. тр.– т.ХІ. – Вып. 7 / Ремонт машин и технология металлов. – Моск. ин-т инженеров с/х пр-ва. – 1979. – С. 51-53.

23. Масино, М.А. Исследование износов и методика определения коэффициентов восстановления корпусных деталей автомобилей [Текст] / М.А. Масино // Автомобильная промышленность. – 1973. – № 8. – С. 19–22.

24. Симонов, А.А. Некоторые результаты исследований дефектов деталей коробок передач автомобилей ЗИЛ–130 [Текст] / А.А. Симонов, В.Д. Шерстобитов // В кн. Вопросы теории, эксплуатации и ремонта

машинно-тракторного парка / Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь, 1980. – С. 100-103.

25. Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин [Текст] / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин // Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

26. Котин, А.В. Повышение долговечности отремонтированных агрегатов автомобилей восстановлением размерных цепей [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Котин. – М., 1986. – 16 с.

27. Котин, А.В. Восстановление точности размерных цепей сборочных единиц применением нежестких компенсаторов износа [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.В. Котин. – Саранск, 1998. – 39 с.

28. Шерстобитов, В.Д. Повышение долговечности коробок передач автомобилей при восстановлении корпусов на сельскохозяйственных ремонтных предприятиях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Д. Шерстобитов. – М., 1983. – 16 с.

29. Рекомендации по организации восстановления картеров коробок передач автомобилей ГАЗ–53А и ЗИЛ–130 промышленными методами [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1988 – 30 с.

30. Цыплаков, В.Г. Разработка и исследование технологии восстановления посадочных отверстий корпусов коробок передач при ремонте сельскохозяйственной техники [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Г. Цыплаков. – Ленинград – Пушкин, 1982. – 17 с.

31. Бабусенко, С.М. Исследование износа и долговечности подшипниковых узлов тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.М. Бабусенко. – М., 1963. – С. 20.

32. Пугач, Н.Ф. Универсальный кондуктор для расточки отверстий в корпусах коробок передач [Текст] / Н.Ф. Пугач // Техника в сельском хозяйстве. – 1971. – №1. – С. 75-78.

33. Симонов, А.А. Кондуктор для расточки отверстий в корпусах коробок передач автомобилей ЗИЛ–130 [Текст] / А.А. Симонов, В.Д. Шерстобитов // Кировский ЦНТИ. – Информационный листок № 244-81.

34. Хохлов, В.П. Восстановление корпусных деталей тракторов и автомобилей [Текст] / В.П. Хохлов, В.Г. Ерошкин // Обзорная информация / Госкомсельхозтехника СССР. – ЦНИИТЭИ. – М., 1981. – 42 с.

35. Петров, Ю.Н. Перспективные способы восстановления деталей машин [Текст] / Ю.Н. Петров // Тезисы докладов научно-технической конференции «Ремдеталь-88». – Ч.2. – М.: АгроНИИТЭИИТО. 1988. – С.122.

36. Спицын, И.А. Современные способы восстановления корпусных деталей [Текст] / И.А. Спицын // Аналитический обзор. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1990. – 43 с.

37. Голубев, И.Г. Мониторинг технологических процессов восстановления деталей [Текст] / И.Г. Голубев, В.В. Быков, А.Н. Батищев, В.В. Серебровский, И.А. Спицын, Ю.А. Захаров // Технический сервис в лесном комплексе / Научные труды. – М., 2000. – С.31.

38. Восстановление деталей гальванопокрытиями на специализированных ремонтных предприятиях [Текст] / Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1987. – 25 с.

39. Восстановление деталей за рубежом [Текст] / Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1987. – 39 с.

40. Крупецкий, В.А. Восстановление посадочных отверстий установкой колец [Текст] / В.А. Крупецкий // Техника в сельском хозяйстве. – 1981. – № 9. – С. 56–57.

41. Перфильев, А.П. Повышение долговечности подшипниковых узлов со сферическим наружным кольцом при ремонте зерноуборочных комбайнов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.П. Перфильев. – М., 1980. – 14 с.

42. Моргун, Я.П. Постановка свёртных колец в посадочные отверстия корпусных деталей (Ремонт с/х техники) [Текст] / Я.П. Моргун, В.П. Смолинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1988. – № 12. – С.47.

43. Шишков, Н. Восстановление опор коренных подшипников методом врезания [Текст] / Н. Шишков // Автомобильный транспорт. – 1980. – №10. – С.52.

44. Слюсаренко, В.В. Восстановление посадочных отверстий свёртными втулками [Текст] / В.В. Слюсаренко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – №8. – С.58.

45. Моргун, А.Н. оценка использования металлов при восстановлении деталей [Текст] / А.Н. Моргун // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – №9. – С.52.

46. Амелин, Д.В. Исследование и разработка способа восстановления отверстий чугунных деталей сельскохозяйственных машин контактной наваркой металлических порошков [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Амелин. – М., 1981. – 291 с.

47. Слюсаренко, В.В. Разработка технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей сельскохозяйственной техники с ис-

пользованием электромеханической обработки [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Слюсаренко. – Саратов, 1986. – 23 с.

48. Китаев, Ю.А. Восстановление деталей с последующей ФАБО [Текст] / Ю.А. Китаев, И.А. Спицын, А.Ю. Китаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1995. – №1 – С.25.

49. Восстановление деталей газопорошковой наплавкой на пропане [Текст]: РТМ 70.0009.014 – 83. – М.: ГОСНИТИ, 1983. – 15 с.

50. Восстановление деталей газопламенным напылением порошков [Текст]: РТМ 70.0001.071 –78. – М., 1979. – 15 с.

51. Ульман, И. Исследование режима двухэлектродной вибродуговой наплавки [Текст] / И. Ульман, К. Дондоков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000 . – №4. – С.19.

52. Казанцев, С.П. Восстановление изношенных деталей многокомпонентной диффузионной металлизацией [Текст] / С.П. Казанцев, В.А. Прилепин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. – №4. – С.31.

53. Татаринцев, М.И. Восстановление деталей газопорошковой наплавкой [Текст] / М.И. Татаринцев, А.И. Сидашенко, И.Д. Гаркуша // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – №2. – С.47.

54. Башкирцев, В.И. Полимерные материалы в ремонтном производстве [Текст] / В.И. Башкирцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1994. – №1. – С.29.

55. Моос, Е.Н. Методы и средства повышения эффективности восстановления деталей автотракторных ДВС при плазменном напылении [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Е.Н. Моос. – Рязань, 1997. – 35 с.

56. Капун, К. Восстановление деталей распылением проволоки [Текст] / К. Капун // Тезисы докладов научно-технической конференции «Ремдеталь-88». – Ч.3. – М.: АгроНИИТЭИИТО, – 1988. – С.12.

57. Применение электродуговой металлизации при восстановлении деталей [Текст] / В.К. Шамко [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – №911. – С.40.

58. Колесников, В.П. Восстановление посадочных мест корпусных автотракторных деталей местным нагревом с применением пластической деформации [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Колесников. – М., 1984. – 16 с.

59. Воловик, Е.Л. Справочник по восстановлению деталей [Текст] / Е.Л. Воловик. – М.: Колос, 1981. – 352 с.

60. Перфильев, А.П. Применение полимеров при ремонте подшипниковых узлов зернокомбайнов [Текст] / А.П. Перфильев // Прогрессивные способы очистки и восстановления изношенных деталей тракторов, автомобилей и сельхозмашин / Сб. науч. тр. Моск. ин-та инженеров с/х пр-ва. – 1981. – С.67-70.

61. Аязбаев, М.Д. Долговечность неподвижных соединений типа вал – подшипник качения, восстановленных герметиком 6Ф в условиях сельскохозяйственных ремонтных предприятий [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Д. Аязбаев. – М., 1984. – 15 с.

62. Шубин, А.Г. Повышение долговечности посадочных отверстий корпусных деталей сельскохозяйственной техники, восстановленных герметиком 6Ф [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Г. Шубин. – М., 1980. – 15 с.

63. Эне, К.И. Точность сборки неподвижных соединений подшипников качения, восстановленных анаэробными герметиками [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.И. Эне. – М., 1993. – 17 с.

64. Восстановление корпусных деталей сельскохозяйственных машин с применением анаэробных материалов [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1987 – 12 с.

65. Курчаткин, В.В. Полимерные композиционные материалы для ремонта сельскохозяйственной техники [Текст] / В.В. Курчаткин, В.И. Кудрявцев, В.И. Башкирцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1999. – №9. – С.24.

66. Котин, А.В. Обоснование точности калибрующих элементов при восстановлении деталей полимерными композициями [Текст] / А.В. Котин, П.П. Лезин, В.А. Денисов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. – №96. – С.17.

67. Лезин, П.П. Восстановление корпусных деталей машин металлополимерными композициями [Текст] / П.П. Лезин, А.В. Котин // Тезисы докладов научно-технической конференции «Ремдеталь-88». – Ч.2. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – С.112.

68. Бурумкулов, Ф. Восстановление посадочных отверстий полимерами [Текст] / Ф.Бурумкулов, П. Лезин, А. Котин // Автомобильный транспорт. – 1991. – №5. – С.44.

69. Шайдулин, В.М. Исследование и разработка технологии восстановления посадочных отверстий корпуса КПП трактора Т-74 проточным железнением на периодическом токе [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.М. Шайдулин. – Кишинев, 1979. – 185 с.

70. Мелков, М.П. Восстановление автомобильных деталей твердым железом [Текст] / М.П. Мелков, А.Н. Швецов, И.М. Мелкова. – М.: Транспорт, 1982. – 198 с.

71. Восстановление шатунов двигателей СМД-60 холодным железением [Текст] / Р.С. Пиявский [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 1981. – №7. – С.56–57.

72. Восстановление наружных и внутренних цилиндрических поверхностей хромированием в саморегулирующемся скоростном электролите [Текст]: РТМ 70.0009.020–84–1. – М.: ГОСНИТИ, 1985 – 10 с.

73. Голубев, И.Г. Анализ технологических процессов восстановления деталей гальваническими покрытиями [Текст] / И.Г. Голубев, А.Н. Батищев, В.В. Серебровский, В.В. Быков, И.А. Спицын, Ю.А. Захаров // Состояние и перспектива восстановления, упрочнения и изготовления деталей / Материалы научно-практической конференции. – М., 1999 – С. 127-128.

74. Соловьев, Н.Я. Восстановление деталей электролитическим способом [Текст] / Н.Я. Соловьев, В.А. Маслов, А.Д. Дурнев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – №12. – С.37.

75. Методические рекомендации по применению электролитических покрытий в технологии ремонта машин [Текст]: утв. 20.04.84 / Госкомсельхозтехника РСФСР, ЦБНТИ. – М., 1984. – 60 с.

76. Форкель, Е.А. Метод гальванизации железом наружных и внутренних поверхностей: Перевод [Текст] / Е.А. Форкель // Автомобильный транспорт. – 1981. – № 6. – С.76-78.

77. Плачкинов, Л.М. Применение электролитического натирания при восстановлении изношенных поверхностей [Текст] / Л.М. Плачкинов, Д.Н. Вылчев // Тезисы докладов научно-технической конференции «Ремдеталь-88». – Ч.2. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – С.24.

78. Ямпольский, А.М. Краткий справочник гальванотехника [Текст] / А.М. Ямпольский, В.А. Ильин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1981. – 269 с.

79. Батищев, А.Н. Пособие гальваника-ремонтника [Текст] / А.Н. Батищев. – М.: Колос, 1980. – 240 с.

80. Лайнер, В.И. Современная гальванотехника [Текст] / В.И. Лайнер. – М.: Металлургия, 1967. – 384 с.

81. Лайнер, В.И. Основы гальваностегии. Ч. 1 [Текст] / В.И. Лайнер, Н.Т. Кудрявцев. – М.: Металлургиздат, 1953. – 624 с.

82. Окулов, И.Б. Гальванические покрытия [Текст] / И.Б. Окулов, Б.М. Шубин. – М.: МАШГИЗ, 1962. – 174 с.

83. Коротин, И.А. Технология нанесения гальванических покрытий [Текст]: учеб. пособие / И.А. Коротин. – М.: Высшая школа, 1984 – 200 с.

84. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении [Текст]. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.

85. Гальванические покрытия [Текст]. – М.: Свердловск, 1962 – 176 с.

86. Новиков, А.Н. Восстановление посадочных отверстий корпусных деталей гальванопокрытием в проточном электролите [Текст] / А.Н. Новиков, А.И. Заплатников // Технический сервис в АПК. – 1993. – № 2 – С.19.

87. Мелков, М.П. Твердое осталивание автотракторных деталей [Текст] / М.П. Мелков. – М.: Транспорт, 1971. – 222 с.

88. Пашенных, А.М. Исследование условий получения осадков электролитического железа в проточном электролите применительно к восстановлению внутренних поверхностей автомобильных деталей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.М. Пашенных. – Саратов, 1965. – 183 с.

89. Поляков, А.А. Восстановление корпусных деталей [Текст] / А.А. Поляков, А.Е. Перминов // Автомобильный транспорт. – 1981. – № 2. – С. 41-42.

90. Восстановление посадочных мест под подшипники [Текст] / В.Г. Величко [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 1978. – № 1. – С. 77-80.

91. Хлыстов, А.В. Восстановление опор коренных подшипников блока электронатирианием [Текст] / А.В. Хлыстов // Автомобильный транспорт. – 1981. – № 10. – С. 44-45.

92. Ильин, В.А. Цинкование, кадмирование, лужение и свинцевание [Текст] / В.А. Ильин. – 4-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд - ние, 1977. – 96 с.

93. Суворин, А.В. Влияние частоты вращения образца на нанесение цинкового покрытия электронатирианием [Текст] / А.В. Суворин, С.Л. Савин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – №9. – С.28.

94. Сушкевич, М.В. Исследование восстановления неподвижных сопряжений гальваническим цинкованием электронатирианием [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М.В. Сушкевич. – Ставрополь, 1962. – 236 с.

95. Азовский, В.М. Электроосаждение и структура электролитических слоев цинка и сплава цинк-железо [Текст]: дис. ... канд. хим. наук / В.М. Азовский. – Тольятти, 1984. – 135 с.

96. Бабушкин, А.К. Исследование физико-механических свойств железо-цинковых сплавов, применяемых для восстановления корпусных деталей электронатирием в проточном электролите [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук / А.К. Бабушкин. – Л., 1971. – 19 с.

97. Спицын, И.А. Восстановление посадочных отверстий корпусных деталей проточным цинкованием [Текст] / И.А. Спицын, Ю.А. Захаров // «Современные проблемы науки в АПК». Механизация сельского хозяйства. Проблемы высшей школы / Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава и специалистов сельского хозяйства. – Пенза, 1999. – С.33-35.

98. Петров, Ю.Н. Выбор активирующего инструмента для гальвано-механического хромирования [Текст] / Ю.Н. Петров, Е.И. Корнейчук, Ф.П. Яниогло // Сборник научных трудов Кишиневского СХИ / Интенсификация процессов и повышение качества восстановления деталей. – 1987. – 115 с.

99. Данич, В.А. Влияние некоторых условий механического активирования на производительность гальваномеханического железнения [Текст] / В.А. Данич, В.Ф. Горобец // Сборник научных трудов Кишиневского СХИ / Интенсификация процессов и повышение качества восстановления деталей. – 1987. – 115 с.

100. Петров, Ю.Н. Влияние типа активирующего инструмента и условий электролиза при гальваномеханическом железнении на микротвердость и структуру покрытий [Текст] / Ю.Н. Петров, В.Ф. Горобец, Н.И. Корнейчук // Интенсификация процессов и повышение качества восстановления деталей / Сборник научных трудов Кишиневского СХИ. – 1986. – 105 с.

101. Павлов, А. Восстановление деталей гальваническим покрытием на основе цинка [Текст] / А. Павлов // Автомобильный транспорт. – 1981. – №8. – С.37.

102. Новиков, А.Н. Восстановление посадочных мест под подшипники крупногабаритных деталей цинк-никелевым сплавом [Текст] / А.Н. Новиков // Тезисы докладов научно-технической конференции «Ремдеталь-88». – Ч.2. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – С.95.

103. Плеханов, И. Ремонт гнезд подшипников [Текст] / И. Плеханов // Автомобильный транспорт. – 1981. – №2. – С.43.

104. Плеханов, И. Гальванические цинковые сплавы в ремонтном производстве [Текст] / И. Плеханов // Автомобильный транспорт. – 1982. – №7. – С.38.

105. Белова, О.А. Современное состояние процесса получения цинковых покрытий. Теория и практика электроосаждения металлов и сплавов [Текст] / О.А. Белова. – Приволжское кн. изд-во, Пензенское отд., 1976. – 110 с.
106. Кудрявцев, Н.Т. Электролитические покрытия металлами [Текст] / Н.Т. Кудрявцев. – М.: Химия, 1979. – 350 с.
107. Проскурин, Е.В. Цинкование [Текст] / Е.В. Проскурин, В.А. Попович, А.Т. Мороз // Справочник. – М.: Металлургия, 1988. – 528 с.
108. Бартл, Д.С. Технология химической и электрохимической обработки поверхности металлов [Текст] / Д.С. Бартл, О.Н. Мудрох; пер. с чешского. – М.: Машгиз, 1961. – 712 с.
109. Грилихес, С.Я. Полирование, травление и обезжиривание металлов [Текст] / С.Я. Грилихес. – Л.: Машиностроение, 1977. – 113 с.
110. Электрохимическая обработка чугунов перед нанесением электролитических покрытий [Текст / В.П. Косов [и др.] // Электронная обработка материалов. – 1974. – № 5. – С.12-17.
111. Гарапова, В.И. Проблемы охраны водной среды в проектах Гипроавтопрома [Текст] / В.И. Гарапова, В.А. Устинов // Автомобильная промышленность. – 1982. – № 2. – С.1.
112. Митряков, А.В. Надежность восстановительной технологии [Текст] / А.В. Митряков. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1979. – 183 с.
113. Спицын, И.А. Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей цинкованием [Текст] / И.А. Спицын, Ю.А. Захаров // Технический сервис в лесном комплексе / Научные труды. – М., 2000 – с.75.
114. Горобец, В.Ф. Восстановление внутренних цилиндрических поверхностей крупногабаритных деталей машин гальваномеханическим железнением [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.Ф. Горобец. – Кишинев, 1999. – 27 с.
115. Швабе, К.В. Пассивность металлов [Текст] / К.В. Швабе // Защита металлов. – Наука, 1966. – Т.2. – № 4. – С. 393-415.
116. Косов, В.П. Теоретические основы и разработка технологии восстановления изношенных деталей машин железнением на периодическом токе [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Косов. – Кишинев, 1977. – 249 с.
117. Гуляев, А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. – 648 с.

118. Колотыркин, Я.М. Роль неметаллических включений в коррозионных процессах [Текст] / Я.М. Колотыркин, Л.И. Фрейман // Коррозия и защита от коррозии / Итоги науки и техники. – ВИНТИ, 1978. – С. 5-52.

119. Тельманова, О.Н. Поведение чугунов с пластинчатой и глобулярной формой графита в разбавленных кислотах [Текст] / О.Н. Тельманова, П.П. Карязин, В.М. Штанько // Защита металлов. – Наука, 1980. – Т.16. – № 1. – С. 54-58.

120. Шапиро, З.Б. Кислотоупорный высокопрочный чугун с шаровидным графитом [Текст] / З.Б. Шапиро. – М., 1958. – 58 с.

121. Тимербулатов, М.Г. Сравнение интенсивности коррозии чугунов и сталей в различных средах [Текст] / М.Г. Тимербулатов // В кн.: Исследование коррозии металлов под напряжением. – М.: Машгиз, 1953. – С. 61.

122. Юкалов, И.Н. Химически стойкие чугуны [Текст] / И.Н. Юкалов. – М.: Химия, 1964. – 68 с.

123. Довгалевский, Я.М. Чугуны с особыми свойствами [Текст] / Я.М. Довгалевский. – М.: Metallurgizdat, 1957. – 198 с.

124. Окнов, М.Г. Metalлография чугуна [Текст] / М.Г. Окнов. – М. – Л.: ГОНТИ, 1938. – 164 с.

125. Ващенко, К.И. Магнийевый чугун [Текст] / К.И. Ващенко, Л.И. Софрони. – М.: Киев. – Машгиз, 1960. – 487 с.

126. Лихницкий, Г.В. Особенности структуры окисных пленок на чугунах при паротермическом оксидировании [Текст] / Г.В. Лихницкий, Ю.А. Жабокрицкий // Защита металлов. – Наука, 1966. – Т.2. – № 4. – С. 485-487.

127. Колотыркин, Я.М. О механизме влияния анионов раствора на кинетику растворения металлов. Роль взаимодействия [Текст] / Я.М. Колотыркин, Ю.А. Попов, Ю.В. Алексеев // Электрохимия. – Т.9. – Вып. 5. – М.: Наука, 1973. – С.624.

128. Попов, Ю.А. К основам теории пассивности металлов в водном электролите [Текст] / Ю.А. Попов, Ю.В. Алексеев // Электрохимия. – т.21. – вып. 4. – М.: Наука, 1985. – с.499.

129. Мирзоев, Р.А. Электрохимическое растворение металлов в постпассивном состоянии [Текст] / Р.А. Мирзоев, А.Д. Давыдов, Б.Н. Кабанов // Электрохимия. – Т.19. – Вып. 10. – М.: Наука, 1983. – С.1415.

130. Леви, М. Метод непрерывного обновления активной поверхности рабочего электрода в электрохимическом процессе [Текст] / М. Леви, И. Пешева, М. Долапчиева // Электрохимия. – Т.19. – Вып. 1. – М.: Наука, 1983. – С. 41.

131. Давыдов, А.Д. Максимальный ток анодного растворения активного железа в серной кислоте [Текст] / А.Д. Давыдов // Электрохимия. – Т.20. – Вып. 11. – М.: Наука, 1984. – С.1534.
132. Флорианович, Г.М. Роль пассивационных явлений в процессе активного растворения железа [Текст] / Г.М. Флорианович, Ф.М. Михеева // Электрохимия. – Т.23. – Вып. 10. – М.: Наука, 1987. – С.1414.
133. Давыдов, А.Д. Закономерности анодного растворения металлов при высоких плотностях тока [Текст] / А.Д. Давыдов, В.Д. Кашеев, Б.Н. Кабанов // Электрохимия. – Т.6. – Вып. 11. – М.: Наука, 1970. – С.1760.
134. Ваграмян, А.Т. Методы исследования электроосаждения металлов [Текст] / А.Т. Ваграмян, З.А. Соловьева. – Изд-во АН СССР, 1960. – 448 с.
135. Томашов, Н.Д. Применение метода непрерывного обновления поверхности металла под раствором для изучения электродных процессов [Текст] / Н.Д. Томашов, Н.М. Струков, Л.Н. Вершинина // Электрохимия. – Т.5. – Вып. 1. – М.: Наука, 1969. – С.26.
136. Захаров, Ю.А. Устройство для электролитического нанесения покрытий проточно-контактным способом с активацией восстанавливаемой поверхности [Текст]: сб. науч. трудов по материалам научно-практической конференции / Ю.А. Захаров, И.А. Спицын // Совершенствование технологии и технических средств механизации сельского хозяйства. – Пенза: ПГСХА, 2001. – С.58.
137. Гарбер, М.Н. [Текст] / М.Н. Гарбер // Журн. ВХО им. Д.И. Менделеева. – 1988. – №2. – С.122.
138. Давидавичус, Э.Б. Экономика и технология гальванического производства [Текст] / Э.Б. Давидавичус. – М.: МДНТП, 1986. – С.17.
139. Лошкарев, Ю.М. Сравнительный анализ современных электролитов цинкования и критерии их выбора для целей гальванотехники [Текст] / Ю.М. Лошкарев, В.С. Коваленко // Гальванотехника и обработка поверхности. – М., 1993. – Т.2. – № 2. – С.37.
140. Jelinek, T.W. // Galvanotechnik. – 1981. – 72. – №5. – S.470.
141. Schwarz Guenter, K. // Oberflaeche Surface. – 1984. – 25. – №6. – S.165.
142. D'Angelo, M.P. // Plat And Surface Finish. – 1986 – 73. – №9. – P.20.
143. Muench, K.J. // Galvanotechnik. – 1986. – 77. – №11. – S.2686.
144. Вечяславов, П.М. Контроль электролитов и покрытий [Текст] / П.М. Вечяславов, Н.М. Шмелёва. – Л.: Машиностроение, 1985. – 97 с.
145. Шмелева, Н.М. Контролер работ по металлопокрытиям [Текст] / Н.М. Шмелева. – М.: Машиностроение, 1980. – 176 с.

146. Вибрации в технике [Текст]: справочник. – М.; Машиностроение, 1981. – Т.6. – 465 с.
147. Трифонова, М.Ф. Основы научных исследований [Текст] / М.Ф. Трифонова, П.М. Заика, А.П. Устюжанин. – М.: Колос, 1993 – 293 с.
148. Коптев, В.В. Основы научных исследований и патентоведения [Текст] / В.В. Коптев, В.А. Богомягких, М.Ф. Трифонова. – М.: Колос, 1993 – 144 с.
149. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981 – 184 с.
150. ГОСТ 9450 – 76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 55 с.
151. Богомолова, Н.А. Практическая металлография [Текст] / Н.А. Богомолова. – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.
152. Лаборатория металлографии [Текст] / Е.В. Панченко [и др.]. – М.: Металлургия, 1965. – 440 с.
153. Коваленко, В.С. Металлографические реактивы [Текст] / В.С. Коваленко // Справочник. – М.: Металлургия, 1973. – 112 с.
154. Захаров, Ю.А. Влияние анодной обработки в сернокисллом электролите цинкования на прочность сцепления покрытия с чугуном СЧ 18 [Текст] / Ю.А. Захаров // Фундаментальные разработки, исследования и новые технологии в сельском хозяйстве на пороге 3 тысячелетия / Сборник материалов 1 Всероссийской научно-производственной конференции молодых ученых. – Пенза, 2000. – С.37-39.
155. Вячеславов, П.М. Методы испытаний электролитических покрытий [Текст] / П.М. Вячеславов, Н.М. Шмелёва. – Л.: Машиностроение, 1977. – 87 с.
156. Номенклатура, деталей сельскохозяйственной техники, рекомендуемых для восстановления гальванопокрытиями: утв. Госагропром СССР 31.03.86 [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1986. – 24 с.
157. Тельнов, Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники [Текст] / Н.Ф. Тельнов. – М.: Колос, 1983. – 256 с.
158. Гурьянов, Г.В. О некоторых конструкциях установок для восстановления посадочных мест корпусных деталей [Текст] / Г.В. Гурьянов // Ремонт деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин электрохимическими способами. Межвузовский сборник. – Кишинев, 1977. – С.39-43.

159. Методические указания по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на предприятиях и в организациях системы «Союзсельхозтехника» [Текст]. – М.: ЦНИИТЭИ, 1978. – 91 с.

160. Волкова, Н.А. Экономическое обоснование инженерно-технических решений в дипломных проектах [Текст] / Н.А. Волкова. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2000. – 167 с.

161. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники [Текст]. – М.: МСХ и продовольствия РФ, 1998.-240 с.

162. Экономическое обоснование внедрения мероприятий научно-технического прогресса в АПК: методические рекомендации и примеры расчета [Текст]. – М., 1991. – 184 с.

163. Стратулат, В.А. Оценка эффективности способов восстановления деталей машин [Текст] / В.А. Стратулат, К.С. Иванченко // Сборник научных трудов Кишиневского СХИ / Интенсификация процессов и повышение качества восстановления деталей. – 1987. – 115 с.

164. Слижик, Д. Оценка эффективности восстановления деталей [Текст] / Д. Слижик, Й. Балла, М. Янда // Тезисы докладов научно-технической конференции «Ремдеталь-88». – Ч.2. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – С.4.

165. Матвеев, В.А. Техническое нормирование ремонтных работ в сельском хозяйстве [Текст] / В.А. Матвеев, И.И. Пустовалов. – М.: Колос, 1979. – 288 с.

166. Пат. 2155827 РФ, МПК: 7С 25D 5/06 А. Устройство для электролитического нанесения покрытий / И.А. Спицын, Ю.А. Захаров // заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия" (РФ). – № 99115796/02; заявл. 16.07.1999; опубл. 10.09.2000.

167. Захаров, Ю.А. Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей проточным электролитическим цинкованием: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Ю.А. Захаров. – Пенза, 2001. – 170 с.

168. Пат. 70366 Российская Федерация, МПК G01М. Инерционный нагрузочный [Текст] / Власов П.А., Власов М.В., Захаров Ю.А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия" (RU). – № 2007108571; заявл. 07.03.2007; опубл. 20.08.2008, Бюл. № 2. – 2 с.

169. Захаров, Ю.А. Анализ способов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей машин [Текст] / Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин, А.В. Лахно // Молодой ученый. – 2014. – №16. – С. 68-71.

170. Пат. 2503753 Российская Федерация, МПК: C25D19/00. Устройство для гальваномеханического осаждения покрытий [Текст] / Ю.А. Захаров, И.А. Спицын; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия" (RU). – №2012149639/02, заявл. 21.11.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1. – 9 с.

171. Рылякин, Е.Г. Повышение работоспособности гидропривода транспортно-технологических машин в условиях низких температур [Текст] / Е.Г. Рылякин, Ю.А. Захаров // Мир транспорта и технологических машин.– № 1 (44). – Январь-март 2014. – С. 69-72.

172. Обеспечение работы мобильных машин в условиях отрицательных температур [Текст] / Ю. А. Захаров [и др.] // Молодой ученый. – 2014. – №17. – С. 56-58.

173. Захаров, Ю.А. Восстановление посадочных поверхностей корпусных деталей машин проточным гальваническим цинкованием [Текст] / Ю. А. Захаров, Е. Г. Рылякин, И. Н. Семов // Молодой ученый. – 2014. – №17. – С. 58-62.

174. Лянденбургский, В.В. Морфологический анализ методов группировки операций технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, Л.А. Рыбакова // Автотранспортное предприятие № 6. – 2014. – С. 28-32.

175. Кухарев, О.Н. Результаты исследований барабанного дражиратора [Текст] / О.Н. Кухарев, И.Н. Семов, А.М. Чирков // Нива Поволжья. – 2010. – №1 – С. 54-57.

176. Лянденбургский В.В. Совершенствование и исследования средств контроля работоспособности автомобилей [Текст]: моногр. / В.В. Лянденбургский. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 210 с.

177. Рылякин, Е.Г. Терморегулирование рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин [Текст] / Е.Г. Рылякин // Актуальные вопросы современной науки. Научный журнал. – № 1 (1). – 2014. – С. 5-10.

178. Рылякин, Е.Г. Влияние эксплуатационных факторов на изменение надежности гидроагрегатов мобильных машин [Текст] / Е.Г. Рылякин // Молодой ученый. – 2014. – №4. – С. 247-249.

179. Рылякин, Е.Г. Результаты исследования малогабаритной энерго-сберегающей зерноплющилки для фермерского хозяйства [Электронный ресурс] / Е.Г. Рылякин // Инженерный вестник Дона: электронный научный

журнал. №2, 2014. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2359>
(дата обращения 30.05.2014).

180. Рылякин, Е.Г. Подогрев масла в гидросистеме [Текст] / Е.Г. Рылякин // Сельский механизатор. – 2014. – №8. – С.38-40.

181. Курылев, А.В. Система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин [Текст] / А.В. Курылев, Е.Г. Рылякин // Мир транспорта и технологических машин. – № 3 (46). – Июль-Сентябрь 2014. – С. 89-96.

182. Исследование изнашивания прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры [Текст] / А.В. Новичков, Е.В.Новиков, Е.Г. Рылякин, А.В. Лахно, П.И. Аношкин // Международный научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 108-111.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	7
1.1. Способы восстановления поверхностей посадочных отверстий корпусных деталей машин	7
1.2. Зависимость прочности сцепления покрытия с основой от подготовки поверхностей к электролитическому цинкованию	16
1.3. Пути совершенствования электролитического цинкования	22
Выводы и задачи исследований	24
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АНОДНОГО ТРАВЛЕНИЯ ЧУГУНА В ЭЛЕКТРОЛИТЕ СЕРНОКИСЛОГО ЦИНКА И ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗА МЕХАНИЧЕСКИМ АКТИВИРОВАНИЕМ КАТОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	25
2.1. Влияние структуры поверхности металла на его анодное растворение	25
2.2. Анодное растворение железа в растворах, содержащих сульфат-ионы	27
2.3. Влияние механического активирования катодной поверхности на процесс осаждения гальванопокрытий	30
Выводы	35
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	37
3.1. Программа экспериментальных исследований	37
3.2. Экспериментальная установка	38
3.3. Методика электрохимических исследований	47
3.4. Выбор, приготовление, контроль и корректировка электролита	51
3.5. Методика определения прочности сцепления цинкового покрытия с чугуном	54
3.6. Методика сравнительных исследований виброгасящих свойств цинкового покрытия и чугуна СЧ 18	56
3.7. Методика исследования прочности сцепления покрытия с чугуном методом планирования факторного эксперимента	57
3.8. Методика определения микротвердости поверхности получаемых цинковых гальванопокрытий	63
3.9. Методика изучения граничного слоя между основой и покрытием	64

3.10. Методика исследования влияния режимов электролиза на производительность процесса проточного осаждения и микротвердость цинкового гальванопокрытия	65
3.11. Определение повторности опытов	67
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	68
4.1. Исследование влияния технологических факторов на электрохимическое растворение серого чугуна в сернокислом электролите цинкования	68
4.2. Влияние механического активирования катодной поверхности на величину предельной плотности тока	73
4.3. Исследование влияния режимов анодной обработки а прочность сцепления цинковых покрытий с серым чугуном	75
4.4. Исследование влияния режимов начального периода осаждения цинка на прочность сцепления его с чугуном	79
4.5. Исследование влияния режимов электролиза на производительность осаждения и микротвердость покрытия	87
4.6. Результаты сравнительных исследований виброгасящей способности цинкового покрытия и чугуна СЧ 18	97
4.7. Эксплуатационные испытания	98
Выводы	99
5. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	101
5.1. Технологические и организационные рекомендации	101
5.2. Расчет экономической эффективности использования разработанных рекомендаций	107
5.2.1. Определение затрат на конструкторскую разработку	107
5.2.2. Расчет себестоимости восстановления 1 дм ² поверхности ...	110
5.2.3. Расчет годового экономического эффекта от разработанных рекомендаций	113
Выводы	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	117

Научное издание

Захаров Юрий Альбертович
Спицын Иван Алексеевич
Рылякин Евгений Геннадьевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПОСАДОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ
МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ГАЛЬВАНМЕХАНИЧЕСКИМ
ЦИНКОВАНИЕМ
Монография

В авторской редакции
Верстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 15.12.14. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл.печ.л. 7,9. Уч.-изд.л. 8,5. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.

Заказ № 17.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28