

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пензенский государственный университет архитектуры и  
строительства»**

КАФЕДРА «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Утверждаю:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись, инициалы, фамилия) Ю.В. Родионов

\_\_\_\_\_

число

месяц

год

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ  
РАБОТА**

на тему:

«Исследование свойств цинкового гальванопокрытия при восстановлении  
корпусных деталей ТигТМО»

***АВТОР ВКР***

\_\_\_\_\_

*подпись*

***И.О. Фокеев***

\_\_\_\_\_

*инициалы, фамилия*

Направление подготовки 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-  
технологических машин и комплексов  
(наименование)

Группа ЭТМК-21М

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

*подпись*

\_\_\_\_\_

*дата*

Ю.А. Захаров

*инициалы,*

*фамилия*

Пенза, 2017 г.



## АННОТАЦИЯ

Тема выпускной квалификационной работы – «Исследование свойств цинкового гальванопокрытия при восстановлении корпусных деталей ТiТТМО». РПЗ работы составляет 118 страниц формата А4, в том числе 34 листа в виде слайдов презентации.

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 растворах, содержащих сульфат-ионы.

Теоретически обоснована возможность анодного травления металлов непосредственно в рабочем электролите. Приведена программа и методики экспериментальных исследований, проведен анализ полученных экспериментальных данных. Даны практические рекомендации ремонтному производству и проведена оценка их технико-экономической эффективности.

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

## 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. 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 объём 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. Одно из наиболее важных мест 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.

В этом плане, вопрос снижения потребления питьевой воды при осуществлении технологических процессов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей электролитическими способами стоит особенно остро. Не менее важное место занимает вопрос повышения скорости осаждения без снижения качества покрытия.

**Целью** выпускной квалификационной работы является - Исследование свойств цинкового гальванопокрытия при восстановлении корпусных деталей ТiТТМ.

Для достижения цели работы, поставлены следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ технологий восстановления посадочных отверстий корпусных деталей.
2. Исследовать влияние режимов анодного травления чугуна СЧ 18 и начального периода проточного цинкования на прочность сцепления покрытия с основой.
3. Исследовать влияние режимов рабочего периода проточного цинкования на физико-механические свойства покрытия.
4. Провести сравнительные исследования виброгасящей способности чугуна СЧ 18 и цинкового гальванопокрытия.
5. Разработать практические рекомендации производству.

## 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

### 1.1. Способы восстановления поверхностей посадочных отверстий корпусных деталей машин

При эксплуатации, по вине 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.

По данным авторов [1] на долю корпусных деталей приходится около 16% отказов. Наибольшая повторяемость дефектов характерна для посадочных отверстий (ПО) под подшипники и стаканы. Так по данным ГОСНИТИ коэффициенты повторяемости дефектов в виде износа поверхности отверстий под подшипники и стаканы для основных типов тракторов, автомобилей и комбайнов составляет 0,1 – 0,85. Коэффициенты восстановления корпусов при капитальном ремонте машин составляют 0,4 – 0,8 .

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.

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 происходит снижение остаточных напряжений, что приводит к изменению пространственной геометрии корпусной детали и несоответствию её техническим требованиям.

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 .

Классификация способов восстановления изношенных ПО КД приведена на рис. 1.1 .

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

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 также прост, но трудоемок и дорог. И не обеспечивает высокой прочности соединения «кольцо – деталь».

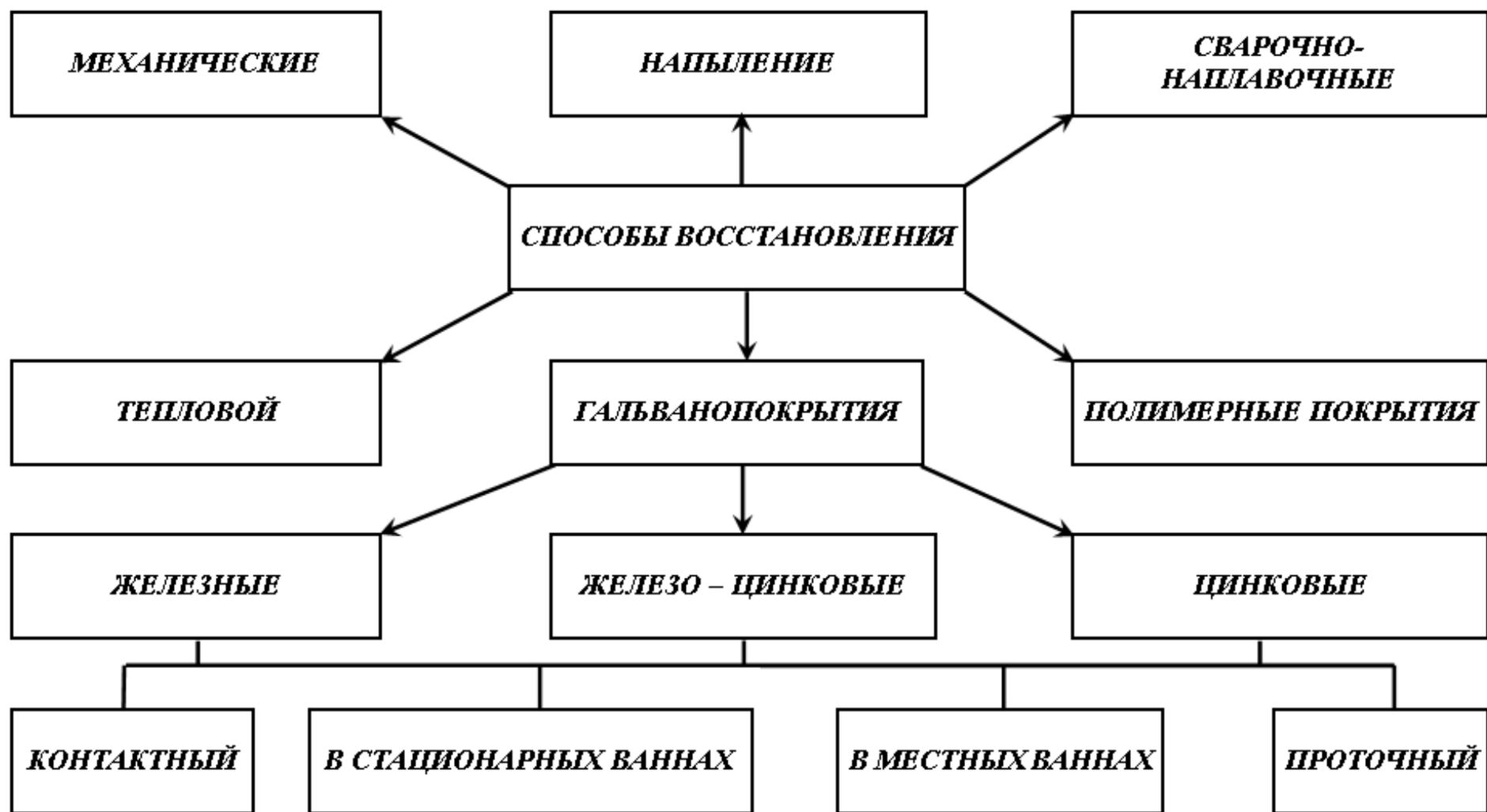


Рис. 1.1 Способы восстановления посадочных отверстий корпусных деталей

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

Цыплаков В.Г. 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 применением накатки и электромеханического выдавливания несмотря на очевидную простоту, не находят применения по причине уменьшения площади рабочей поверхности ПО, нарушения структуры и недостаточной долговечности посадки. 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. Наплавки другого рода позволяют наносить на изношенные поверхности слой практически любой толщины и химического состава с заданной твердостью и износостойкостью. 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 больше, чем имели до восстановления.

В ГОСНИТИ разработан метод контактной приварки стальной ленты или порошка на изношенные поверхности ПО КД. 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. 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, эластомеры ГЭН – 150 (В), ПС – 40 [12, 30, 60], герметик – 6Ф. 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. 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.

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. К достоинствам этого способа следует отнести:

- нет необходимости изолировать не покрываемые 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.

М.П. Мелковым и А.М. Пашенных 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. 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.

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.

Для восстановления ПО КД проточным способом на ремонтных предприятиях применяют в основном железные покрытия. 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.

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 усталостных трещин и разрушение.

К тому же последующая механическая обработка цинковых покрытий не вызывает каких-то либо затруднений.

В ремонтном производстве применяются покрытия сплавами на основе цинка и чистым цинком.

Например, Павлов А. , Новиков А.Н. и Плеханов И. предлагают наносить цинконикелевые гальванопокрытия из сернокислых электролитов (№ 1, № 2, № 3 таблица 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., а также Хлыстов А. [91] предлагают восстанавливать изношенные ПО КД нанесением из сернокислых электролитов железоцинковых покрытий (№ 4, № 5 и № 6 таблица 1.1).

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 <sup>2</sup>	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

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/дм<sup>2</sup>, 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 серноокислым 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 этого изменения 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.

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 таблица 1.1).

Авторы [18, 24] 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.

Для нанесения цинковых покрытий также используются нестационарные режимы с применением периодического тока. 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 (таблица. 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  $5 \times 10^{-5}$  мкм. Они убывают пропорционально третьей степени межатомного расстояния [6]. 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). 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., 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 установлено, что высокое качество очистки достигается в щелочном растворе следующего состава (г/л):  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 30...50,  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  – 15...25,  $\text{NaOH}$  – 30...50,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 2...3 при температуре  $(55 \pm 1)$  К. Время очистки чугунных деталей на катоде составляет  $(10 \pm 2)$  мин. при плотности тока 10...14 А/дм<sup>2</sup>. Павлов А. 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 65-70<sup>0</sup> С и плотности тока 12-16 А/дм<sup>2</sup>.

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. 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.

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.

Электрохимический способ травления уменьшает время обработки деталей, снижает расход материалов, позволяет обрабатывать материалы различного химического состава. 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.

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

Анодное травление проводят в 30%-ном растворе серной кислоты при температуре 291-298 К и анодной плотности тока 18-20 А/дм<sup>2</sup> 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 шлак, и обрабатываемая поверхность становится чистой с отчетливо выявленной кристаллической структурой и специфическим микрорельефом.

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] составлена таблица 1.2, в которой приведены схемы технологических процессов подготовки чугунных корпусных деталей к электролитическому цинкованию в проточном электролите.

Таблица 1.2.

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

Наименование операций и 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 %-ном 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	+	+	+	+

Технологические процессы подготовки чугунных 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.

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

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. 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 определяются 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.

### **1.3 Выводы**

1. Одним из наиболее эффективных методов восстановления изношенных ПО КД машин является проточное электролитическое цинкование. Цинковые покрытия легко обрабатываются и обладают высокими антикоррозионными и виброгасящими свойствами.

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

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

## **2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1. Программа экспериментальных исследований**

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

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

3. Исследование граничной зоны между цинковым покрытием и чугуном.

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

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

### **2.2. Экспериментальная установка**

На основании задач исследования была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, состоящая из электрической и гидравлической частей, схемы которых приведены на рис. 2.1 и рис. 2.3. 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.

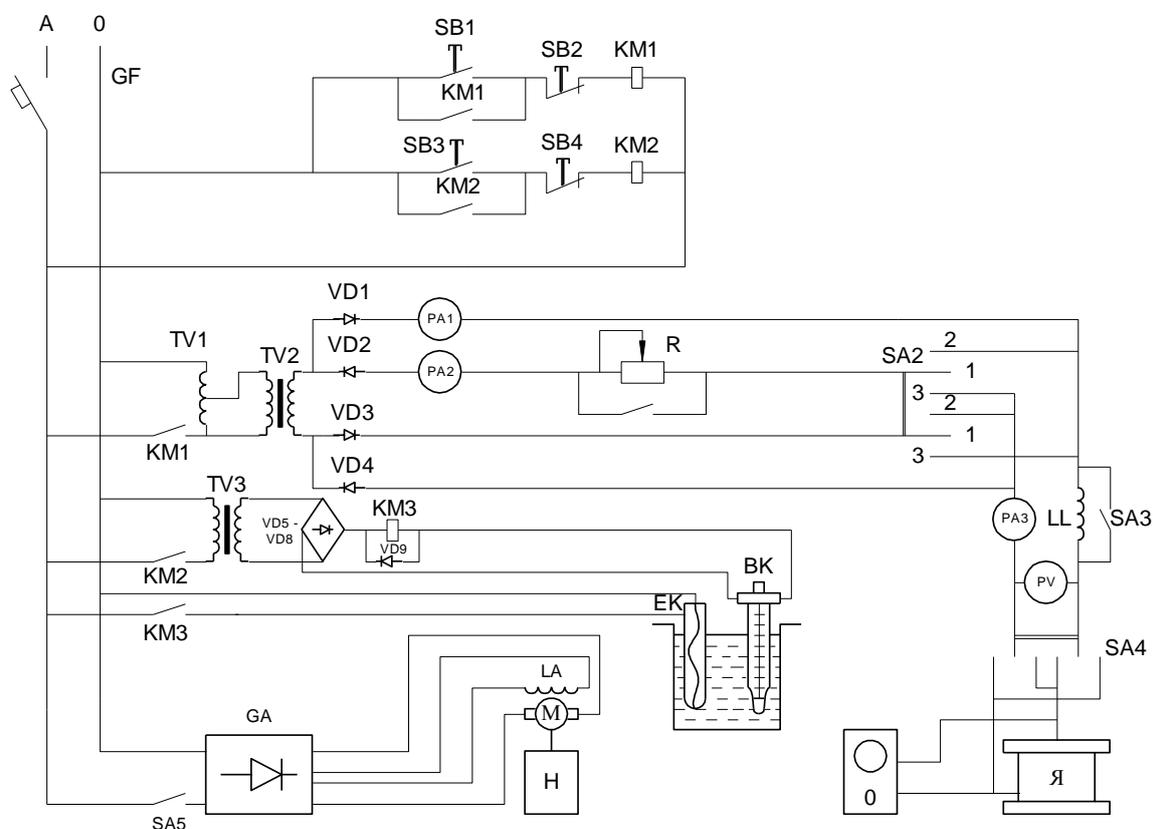


Рис. 2.1. Схема электрическая принципиальная лабораторной установки:

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.

Средние за период значения катодной и анодной составляющих, а также общий ток в цепи ячейки измерялись многопредельными магнитоэлектрическими 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 магнитоэлектрической 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. 2.2) 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 литров. 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. 2.2), 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.

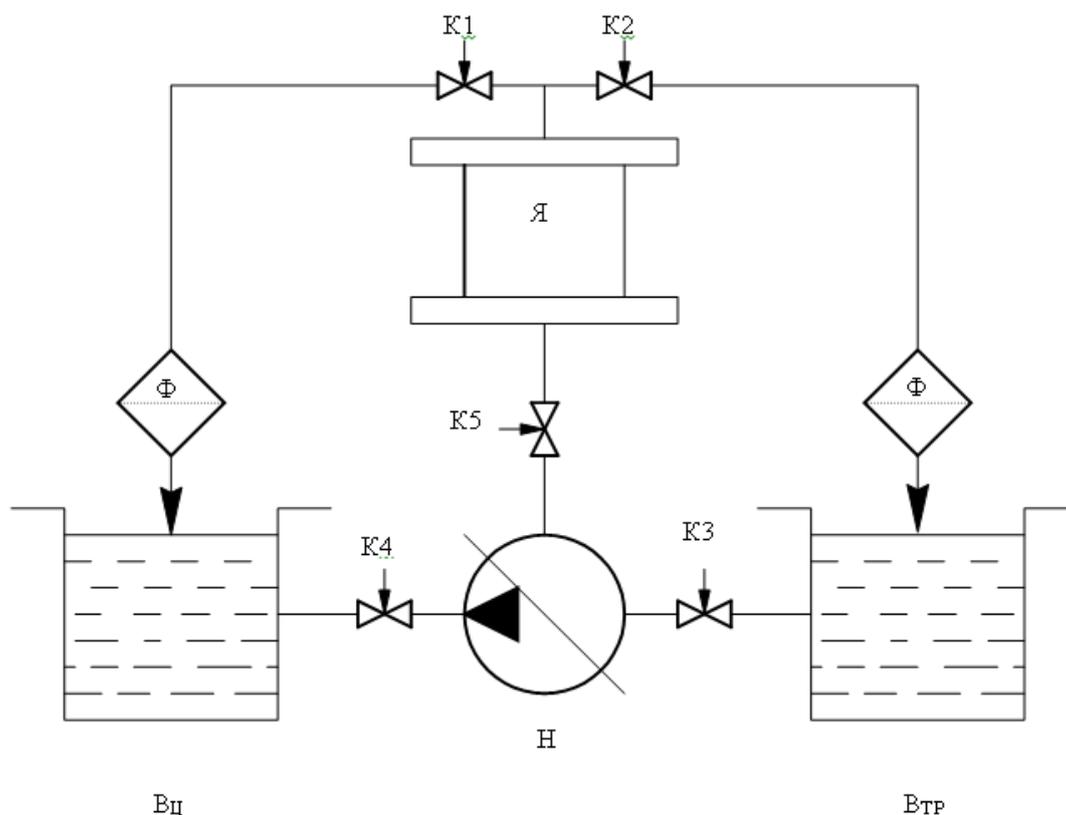


Рис. 2. 2. Принципиальная гидравлическая схема лабораторной установки  
 Н – кислотостойкий насос; В<sub>ц</sub> – ванна с электролитом цинкования;  
 В<sub>тр</sub> – ванна с электролитом травления; Я – электрохимическая ячейка;  
 Ф – фильтр; К1, К2, К3, К4, К5 – вентили регулирующие

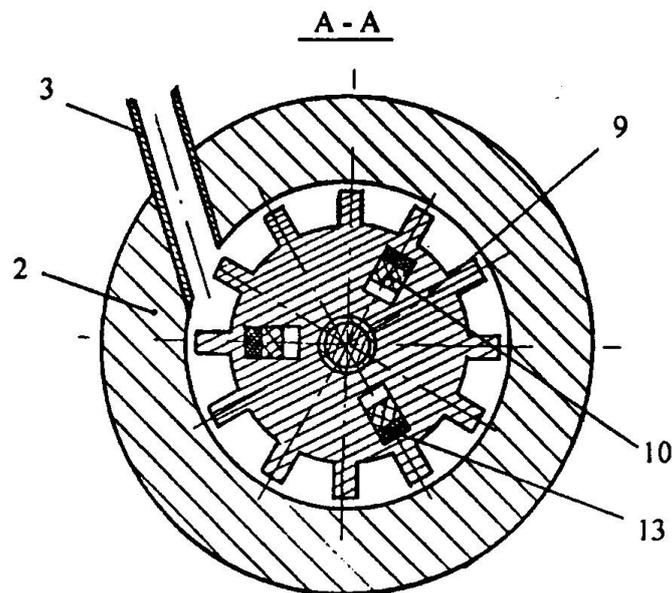
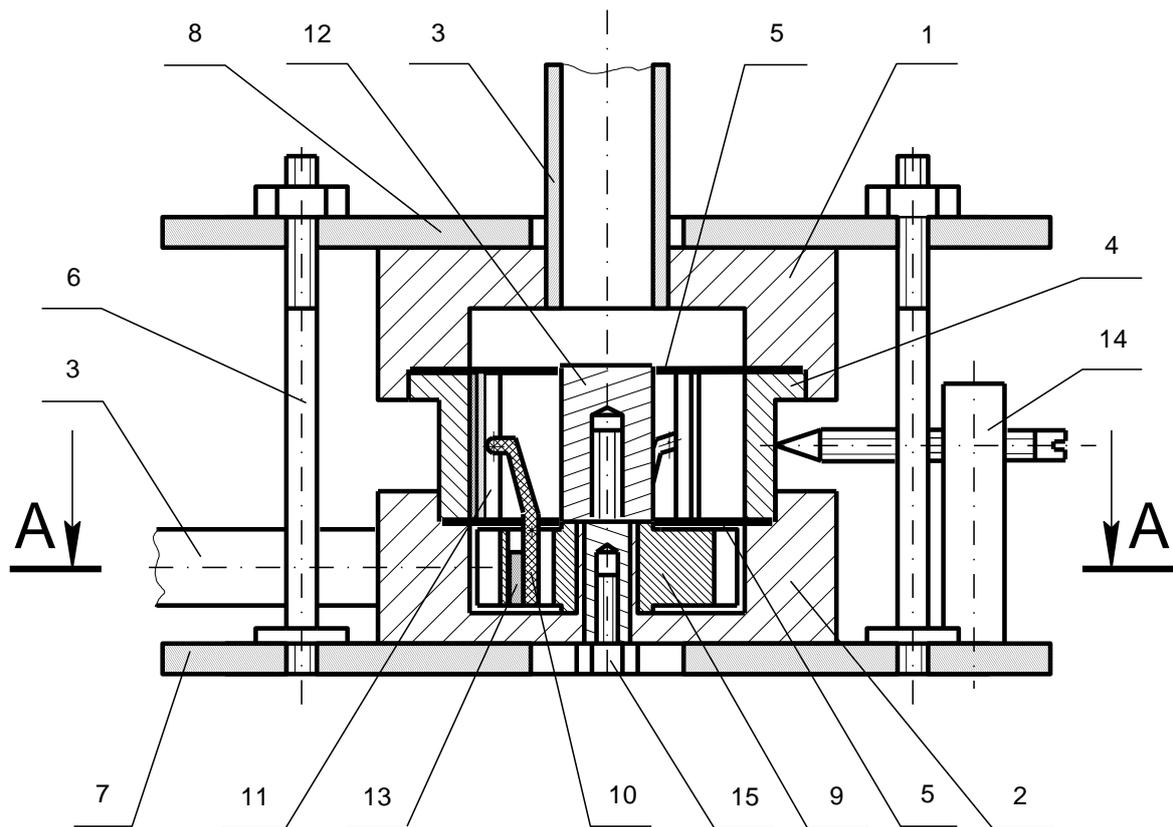


Рис. 2.3 Схема устройства для электролитического нанесения покрытий:  
 1 – фланец верхний; 2 – фланец нижний; 3 – патрубки; 4 – деталь; 5 – прокладки; 6 – стяжки вертикальные; 7 – станина; 8 – пластина прижимная; 9 – крыльчатка; 10 – рычаги; 11 – элементы активирующие; 12 – анод; 13 – амортизатор; 14 – устройство контактное; 15 – клемма контактная

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).

Устройство работает следующим образом. После соответствующей обработки детали 4 (рис. 2.3) (т.е. механической обработки, обезжиривания и травления), она, 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.

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. 2.3). Фланцы 1, 2 и крыльчатка 9 изготовлены из органического стекла.

Общее вид установки, устройства для электролитического нанесения покрытия и активирующей головки представлены на рисунках

2.4, 2.5, 2.6 и 2.7.

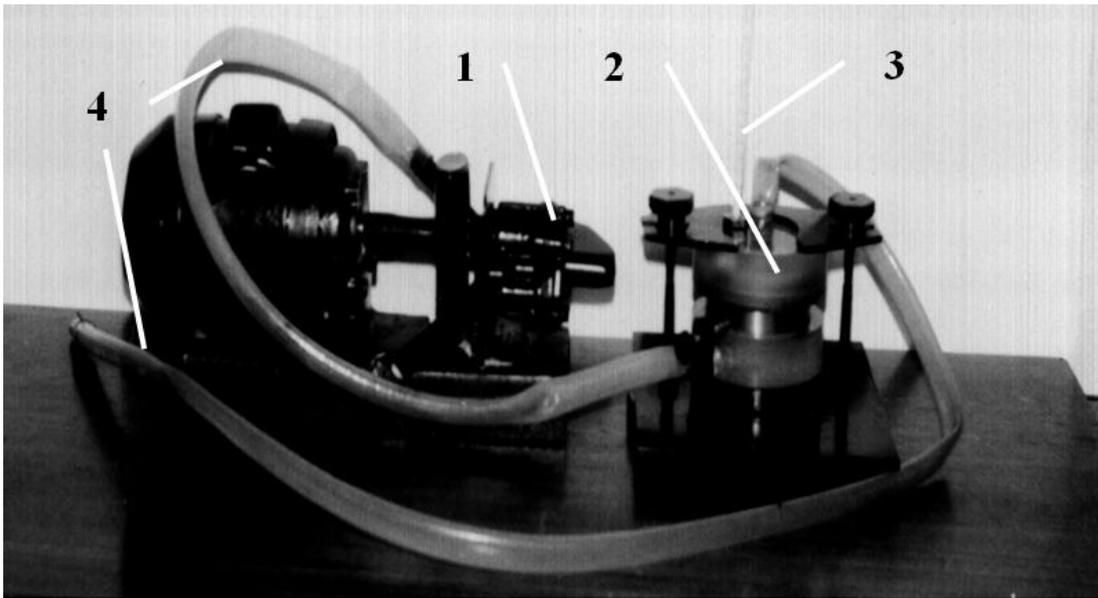


Рис. 2.4. Общий вид установки для гальванического нанесения покрытий:  
1 – гидравлический насос с электроприводом; 2 – электролитическая  
ячейка; 3 – термометр; 4 – трубопроводы

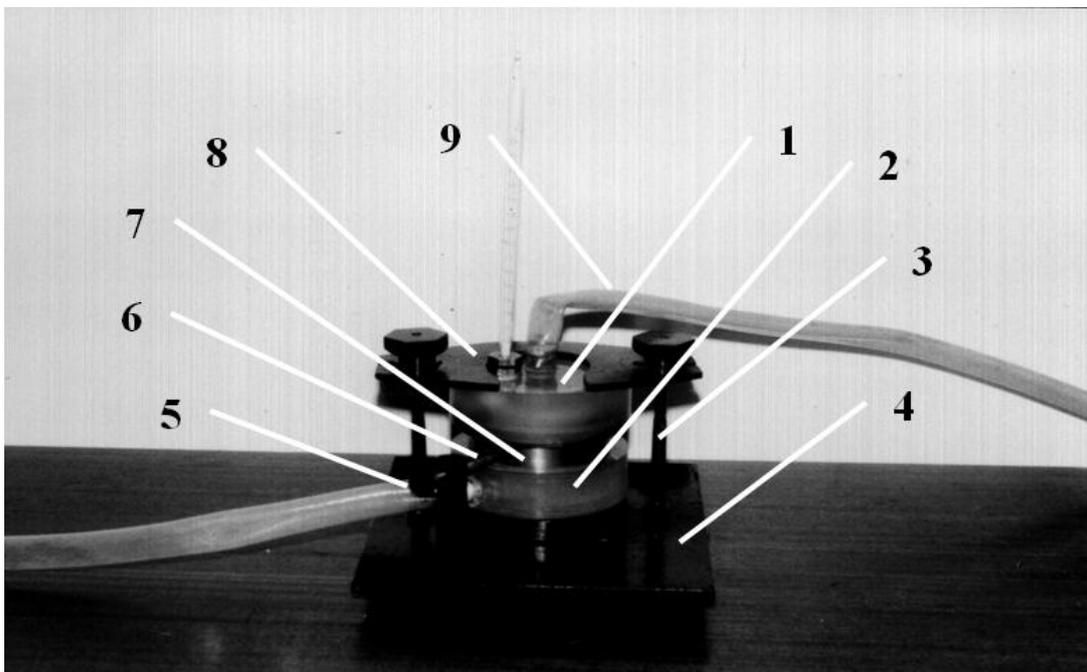


Рис. 2.5. Общий вид устройства для гальванического нанесения покрытий:  
1 – верхний фланец; 2 – нижний фланец; 3 – стяжки вертикальные;  
4 – опорная пластина; 5 – подводящий трубопровод; 6 – токоподводящее  
устройство; 7 – деталь-образец; 8 – прижимная пластина;  
9 – сливной трубопровод

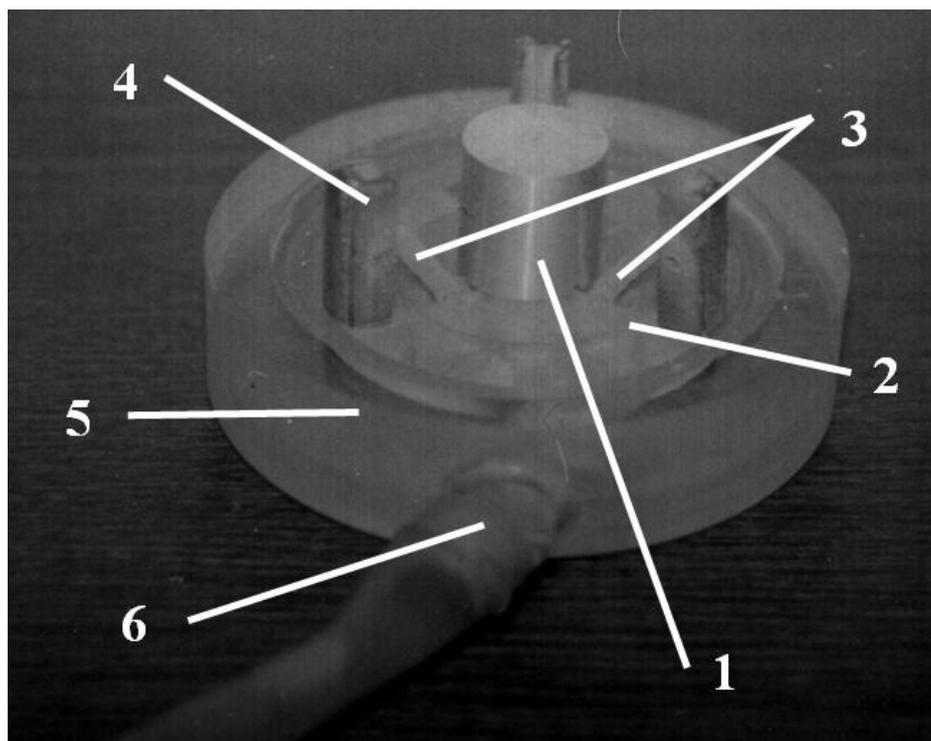


Рис. 2.6. Расположение активирующей головки в нижнем фланце электрохимической ячейки:  
 1 – анод; 2 – крыльчатка; 3 – рычаги; 4 – активирующие элементы;  
 5 – нижний фланец; 6 – трубопровод

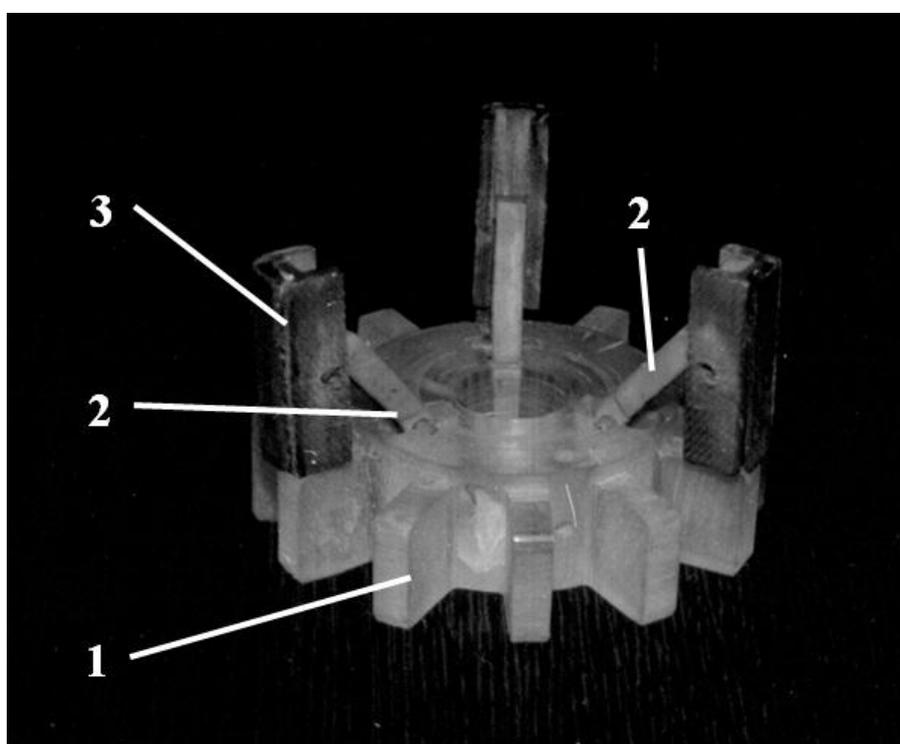


Рис. 2.7 Активирующая головка:  
 1 – крыльчатка; 2 – рычаги; 3 – активирующие элементы

В процессе электролиза электролит постоянно фильтровали фильтром (рис. 2.8), 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 по экономическим соображениям по принципу – «необходимо и достаточно».

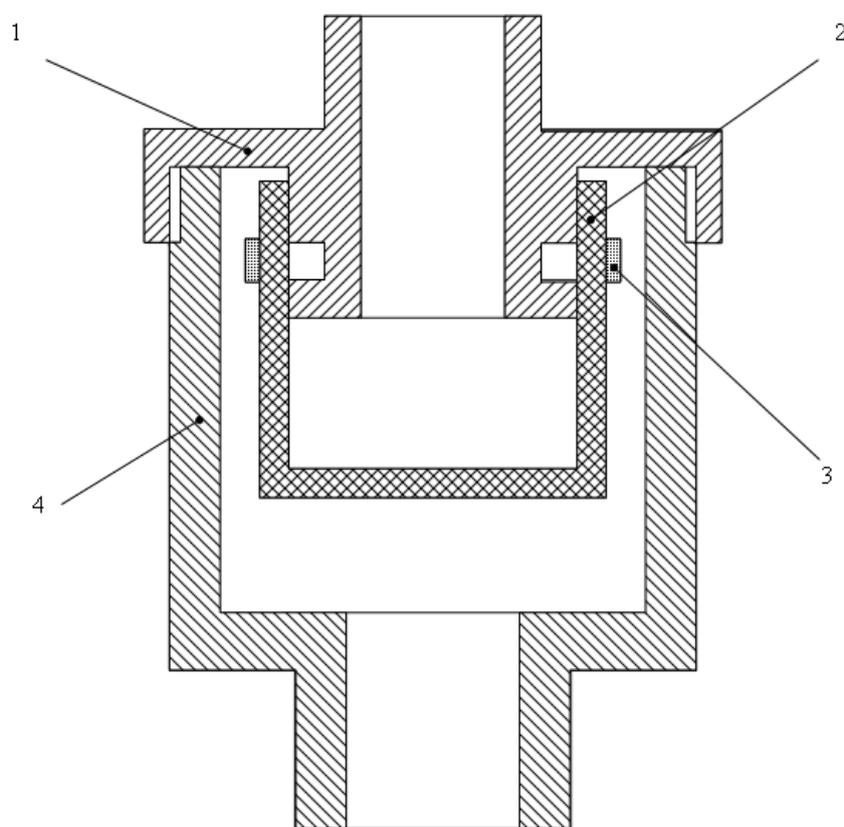


Рис. 2.8 Схема фильтра:  
1 – крышка; 2 – ткань фильтровальная;  
3 – кольцо резиновое; 4 – корпус.

### **2.3. Методика определения прочности сцепления цинкового покрытия с чугуном**

Различают качественные и количественные методы определения прочности сцепления покрытия с основным металлом.

В условиях ремонтного производства находят применение 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. 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. 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 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.2.9).

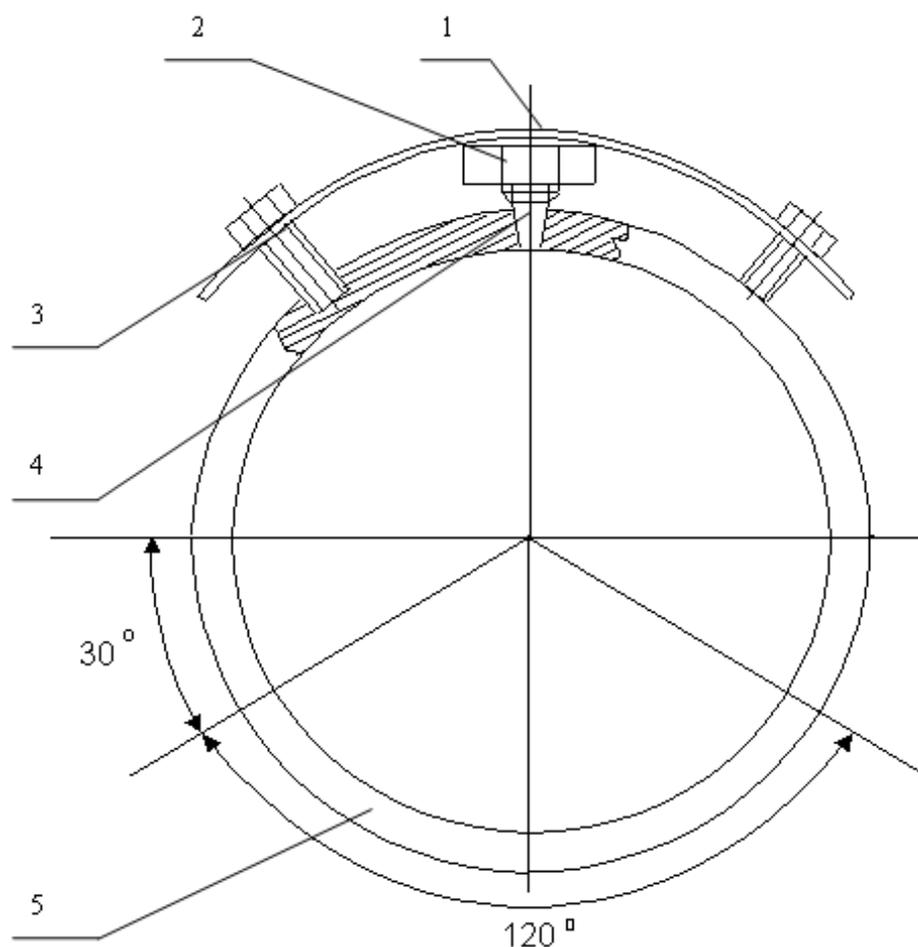


Рис. 2.9. Кольцо с коническими штифтами для определения прочности сцепления

1 – пластина; 2 – гайка М 8 × 1; 3 – винт М 5; 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 обезжировали 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:

$$F_{\text{сц}} = 4P / \pi d^2, \quad (2.1)$$

где  $P$  – усилие отрыва штифта (Н);  $d$  – диаметр штифта (м)

#### **2.4. 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 вызывает появление усталостных трещин и разрушение.

Кроме усталостных разрушений в механических системах наблюдаются и другие явления, вызываемые вибрационными воздействиями. 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.

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.

## **2.5. 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:

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 испытуемую 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:

$$H = \frac{P}{S} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} \cong \frac{1,854P}{d^2}, \quad (2.2)$$

где  $P$  – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику, Н (кгс);

$S$  – условная площадь боковой поверхности полученного отпечатка, мм<sup>2</sup>;

$d$  – среднее арифметическое длин обеих диагоналей квадратного отпечатка, мм<sup>2</sup>;

$\alpha$  – 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:

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  $180^\circ$  (от одного упора к другому) для производства отпечатка, испытуемое 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.

## **2.6. 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 Норакрил-65 (ГОСТ 24888-81).

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

После этого образец полировали на суконном круге в течение 10...15 минут, обезжировали венской известью, промывали водой и травили в 5%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте.

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.

## 2.7. Методика исследования влияния режимов электролиза на микротвердость цинкового гальванопокрытия

Для определения степени влияния основных параметров режима электроосаждения цинка на микротвердость получаемых покрытий использовали планирование эксперимента методом Бокса-Уилсона.

В исследованиях применяли дробный факторный эксперимент (ДФЭ). При этом составляли дробную матрицу планирования (табл. 2.1), сохраняющую четыре основных свойства полной матрицы.

Предварительные исследования показали, что на 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, физико-механических свойств покрытия можно представить в виде функции:

$$Pr = f(V, T, D_k, pH), \quad (2.3)$$

Для установления математической зависимости 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. 2.2).

Перевод натуральных значений факторов в кодированные проводится по формуле:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{E_i}, \quad (2.4)$$

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.

Таблица 2.1

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 <sup>2</sup>	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, pH	$x_4$	pH	0,5	3,5	4	4,5

Определяющим контрастом полуреплики является соотношение:

$$I = x_1 x_2 x_3 x_4, \quad (2.5)$$

Совместные оценки будут определяться следующим образом:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 x_3 x_4; & b_1 &\rightarrow \beta_1 + \beta_{234}; & x_{12} &= x_3 x_4; & b_{12} &\rightarrow \beta_{12} + \beta_{34}; \\ x_2 &= x_1 x_3 x_4; & b_2 &\rightarrow \beta_2 + \beta_{134}; & x_{13} &= x_2 x_4; & b_{13} &\rightarrow \beta_{13} + \beta_{24}; \end{aligned}$$

$$x_3 = x_1 x_2 x_4; \quad b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{124}; \quad x_{14} = x_2 x_3; \quad b_{14} \rightarrow \beta_{14} + \beta_{23};$$

$$x_4 = x_1 x_2 x_3; \quad b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{123};$$

Таблица 2.2

Матрица планирования ДФЭ  $2^{4-1}$

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1x_2=x_2x_4$	$x_1x_3=x_2x_4$	$x_1x_4=x_2x_3$
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:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 \quad (2.6)$$

Для получения уравнения регрессии, адекватно описывающего исследуемый процесс, проводили статистическую обработку результатов планирования эксперимента.

## 2.8. Определение повторности опытов

При проведении исследований точность получаемых параметров повышается с увеличением количества опытов. Однако неразумно

стремится 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:

$$\frac{E_{\alpha}}{V} = \frac{t_{\alpha}}{\sqrt{N}}, \quad (2.7)$$

где  $E_{\alpha}$  – относительная ошибка,  $t_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента,

$V$  – коэффициент вариации,  $N$  – повторность опытов.

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

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

#### 3.1. 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 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/дм<sup>2</sup> в течение  $35 - 55$  секунд. Следовательно, на прочность сцепления покрытия с чугуном влияет плотность анодного тока  $D_a$  и время травления  $\tau$ .

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. 3.1. Основываясь на литературных данных и собственных предварительных исследованиях, были приняты следующие условия начального периода осаждения параметры механической активации катода:

начальная катодная плотность тока $D_k$ , А/дм <sup>2</sup> .....	10
катодно-анодный показатель $\beta_n$ .....	1,25
температура электролита $T$ , К .....	293
кислотность электролита $pH$ .....	3,5
скорость движения электролита $V$ , м/с .....	0,2
время выдержки без тока $\tau_1$ , с .....	30
время выхода на рабочий режим, с.....	480
частота активации $K_a$ , мин <sup>-1</sup> .....	82,5
глубина внедрения зерна $h$ , мкм .....	0,014
давление активирующего инструмента $P_{бр}$ , Па .....	87

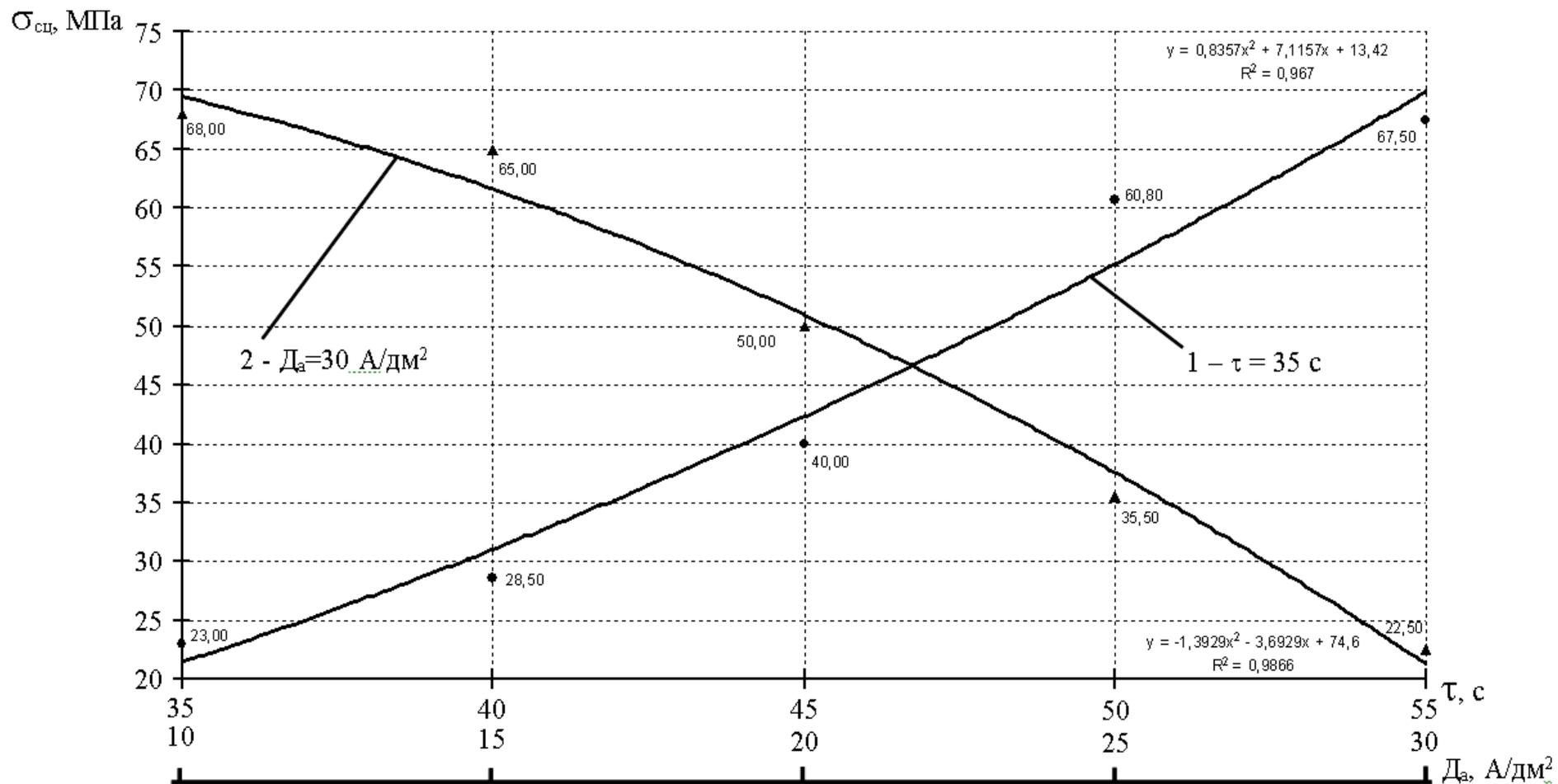


Рис. 3.1. Влияние анодной плотности тока (1) и времени травления (2) на прочность сцепления цинкового гальванопокрытия с чугуном СЧ 18

Осаждение цинкового гальванопокрытия проводили при плотности тока  $30 \text{ А/дм}^2$  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.

Результаты исследований зависимости прочности сцепления цинкового гальванопокрытия с основой от режима травления приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

Анализ этих результатов показывает, что максимально возможная прочность сцепления покрытия с чугуном ( $66,4 \text{ МПа}$ ) достигается травлением при плотности анодного тока  $30 \text{ А/дм}^2$  и времени выдержки при этой плотности тока 35 с.

Таблица 3.1.

План и результаты ПФЭ  $2^2$

Номер опыта	Уровни факторов				Значение параметра оптимизации, $\text{А/дм}^2$						Среднее значение $Y_{\text{ср}}$	Дисперсия среднего $Su^2$	расчетное значение $Y_{\text{рас}}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$			
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

Таблица 3.2.

## 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 $Y_{cp}$ , $S_u^2$	10,5
Критерий Кохрена - $G_p$	0,25
Табличное значение критерия Кохрена при $n-1=5$ и $P=0,05$ , $G_{\alpha}$	0,3595
Дисперсия воспроизводимости эксперимента, $S_y^2$	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 $S_y^2$ , f	20,0
Табличное значение критерия $t_T$ при $P=0,05$	2,09
Доверительный интервал $b_i$	0,6908
Уравнение регрессии $Y = 44+4,9X_1-2,2X_2-15,3X_1X_2$	(3.1)
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: $\sigma_{сц} = -93,6+7,373D_a+2,8\tau-0,153D_a\tau$	

Получаемое покрытие при эксцентричной обработке на токарном станке не отслаивается и не скалывается (рис 3.2).



Рис. 3.2. Зона перехода от покрытия к основе, полученная в результате проведения эксцентричной обработки на токарном станке

При уменьшении плотности тока до  $20 \text{ А/дм}^2$  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  $30 \text{ А/дм}^2$  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.

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  $D_a$ . К аналогичным заключениям пришли многие авторы в своих работах.

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

### **3.2. 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  $30 \text{ А/дм}^2$  время

выдержки  $\tau$  – 35 секунд. Время выхода на рабочий режим (плотность тока  $30\text{А/дм}^2$  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  $2^{6-3}$ . План и результаты эксперимента приведены в табл. 3.3, 3.4 и на рис. 3.3, 3.4, 3.5.

Как видно из анализа уравнения регрессии (3.2) (табл. 3.4) 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.

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. 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., уменьшению внедряющегося в осадок водорода, который снижает его сплошность.

Таблица 3.3.

План и результаты ДФЭ  $6^{3-1}$ 

Номер опыта	Уровень фактора							Значение параметра оптимизации $\sigma_{сц}$ , МПа						Среднее значение	Дисперсия среднего	Расчетное значение
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>			
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 3.4.

## 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 $Y_{cp}$ , $S_u^2$	22,49
Критерий Кохрена – $G_p$	0,149
Табличное значение критерия Кохрена при $n-1=5$ и $P=0,05$ ,	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: $Y=60,9-2X_1-4,75X_2+2,8X_3-X_4+0,82X_5+X_2X_3$ , (3.2)	
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: $\sigma_{сц} = 100 - 8\beta - 7D_{кн} - 0,02T - 2pH + 8,2V + 0,02D_{кн} T$	

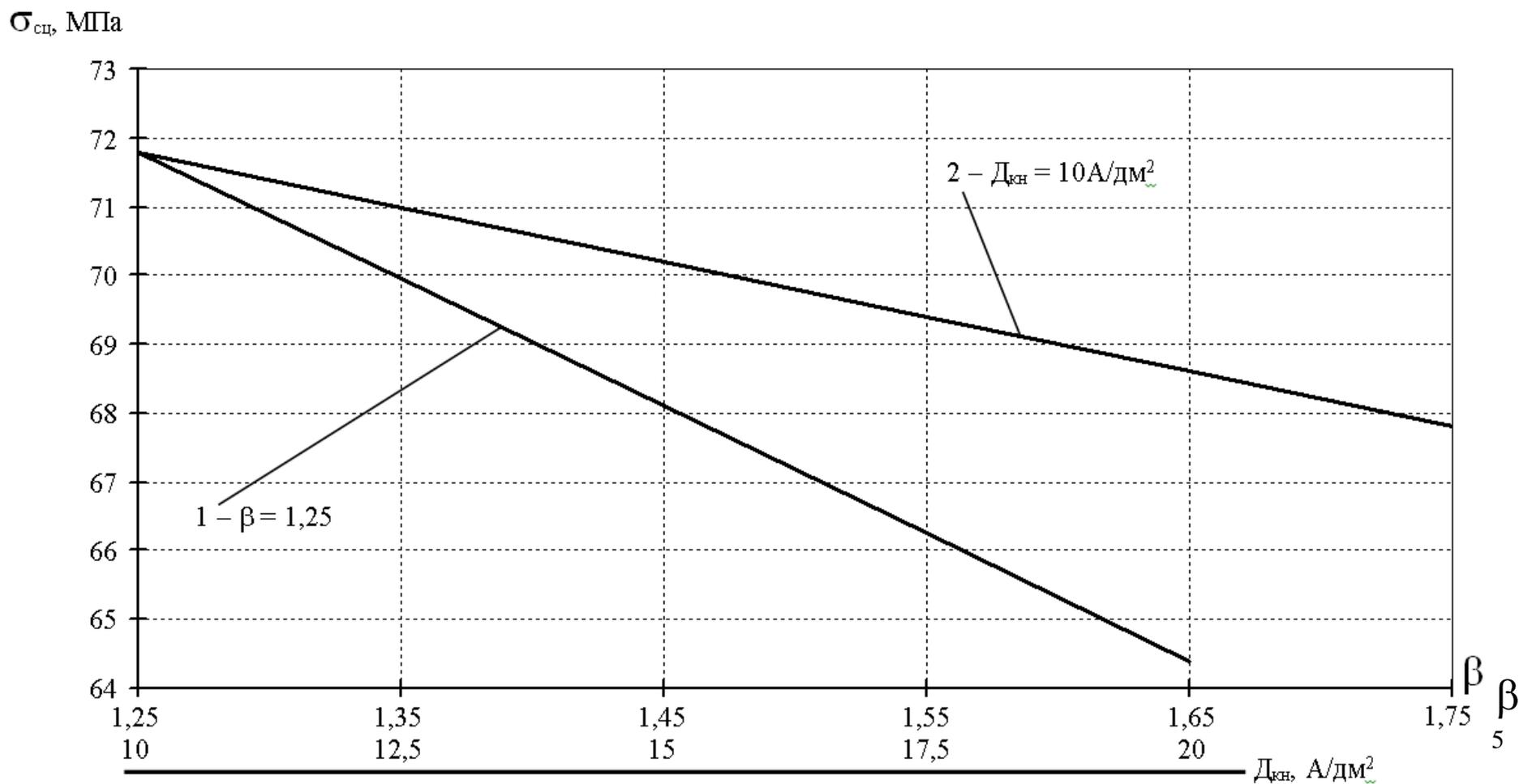


Рис. 3.4. Влияние начальной катодной плотности тока (1) и катодно-анодного показателя (2) на прочность сцепления цинкового покрытия с чугуном СЧ 18 (T = 313K; pH = 3,5; V = 0,3м/с; время выдержки без тока – 30с).

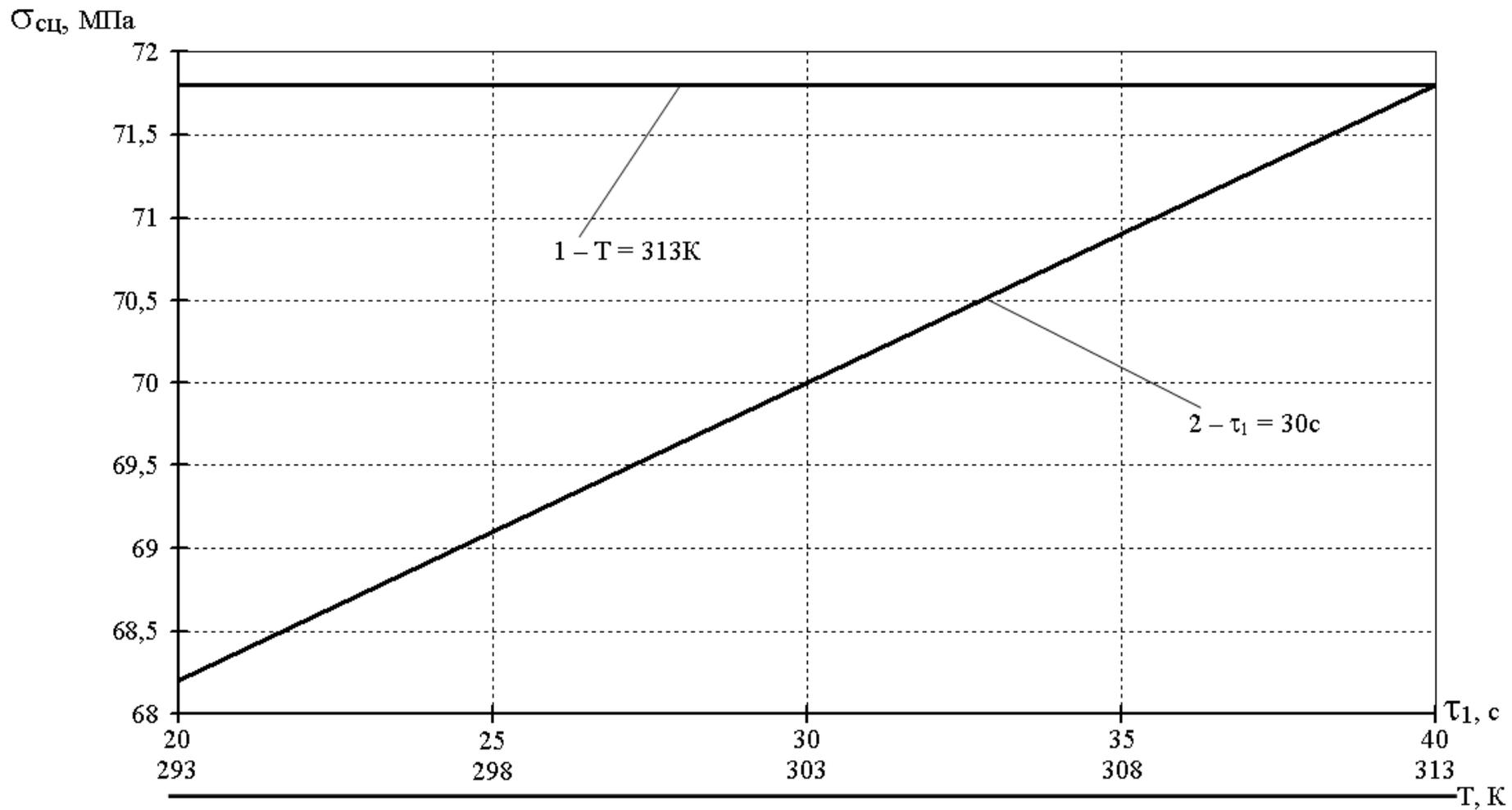


Рис. 3.5. Влияние времени выдержки без тока (1) и температуры электролита цинкования (2) на прочность сцепления цинкового покрытия с чугуном СЧ 18  
 ( $D_{\text{кн}} = 10 \text{ A/дм}^2$ ;  $\beta = 1,25$ ;  $\text{pH} = 3,5$ ;  $V = 0,3 \text{ м/с}$ ).

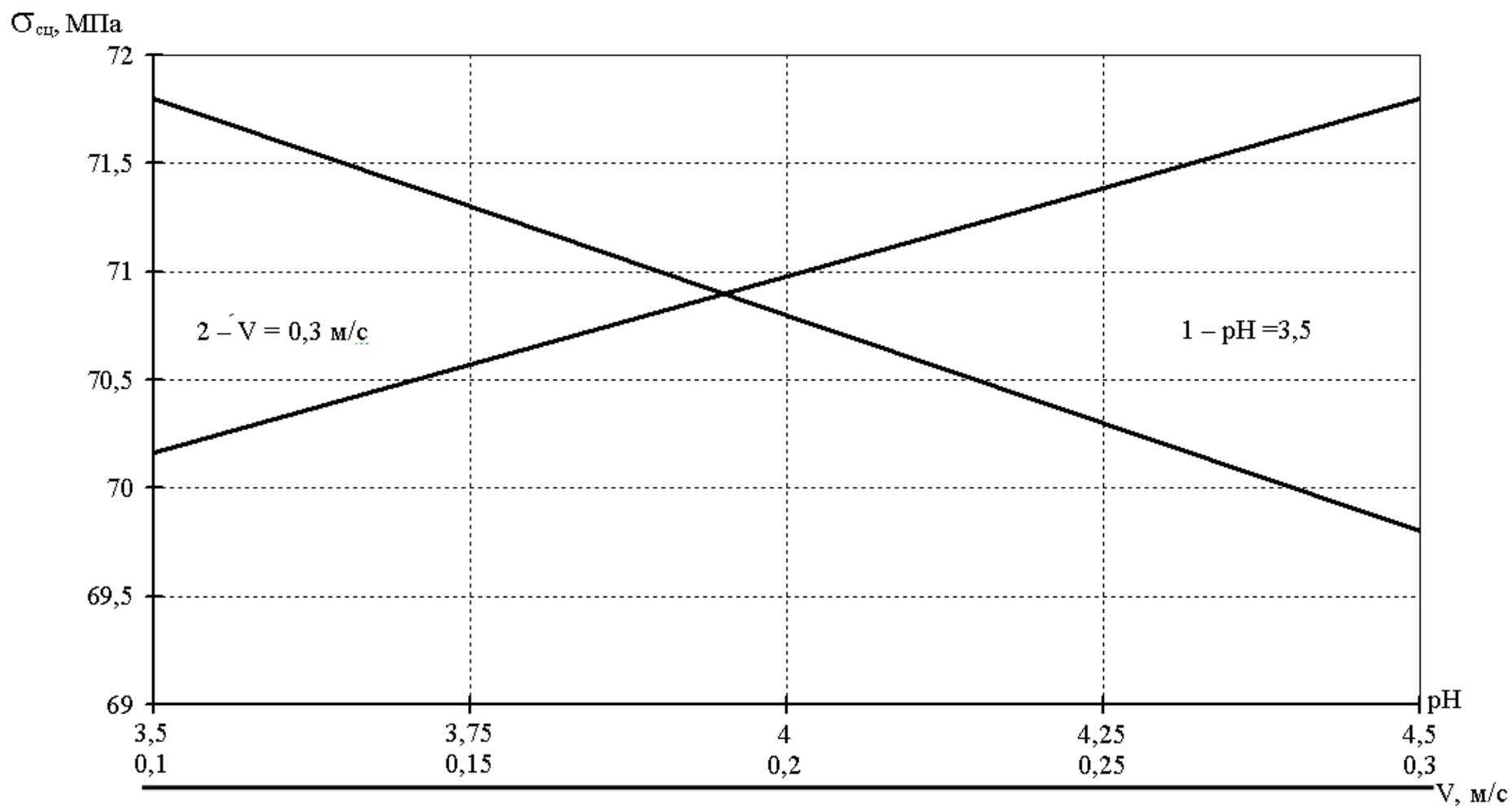


Рис. 3. 6. Влияние скорости протекания (1) и кислотности (2) электролита на прочность сцепления цинкового покрытия с чугуном СЧ 18  
 ( $T = 313\text{K}$ ;  $D_{кн} = 10\text{A/дм}^2$ ;  $\beta = 1,25$ ; время выдержки без тока = 30с).

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 ни какого 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.

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 $\tau_1$ , с .....	20-30
Катодно-анодный показатель $\beta_n$ .....	1,25-1,5
Начальная катодная плотность тока $D_{кн}$ , А/дм <sup>2</sup> .....	10-15
Температура электролита T, 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. 3.7). Нечетко выраженная граница подтверждает высокую прочность сцепления цинкового покрытия с серым чугуном.



Рис. 3.7. 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:  $D_{\text{кн}} = 10 \text{ А/дм}^2$ ;  $\beta = 1,25$ ;  $T = 303 \text{ К}$ ;  $\text{pH} = 3,5$ .

### **3.3. Исследование влияния режимов электролиза на микротвердость покрытия**

На основе априорных данных мы предположили, что на микротвердость получаемого покрытия оказывают влияние: катодная плотность тока  $D_k$ , температура электролита  $T$ , скорость циркуляции электролита  $V$  и его кислотность.

Для определения степени влияния режима электролиза на

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 серноокислого цинка. План и результаты обработки дробных факторных экспериментов ДФЭ  $2^{4-1}$  приведены в табл. 3.5, 3.6 и на рис. 3.8, 3.9.

При анализе уравнения регрессии (3.4) (табл. 3.6), нами обнаружено, что наибольшее влияние на микротвердость покрытия оказывает температура электролита  $T$ . Затем, 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.

Таблица 3.5

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 $Y_{pac}$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_1X_4$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$			
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

Таблица 3.6

## Обработка экспериментальных данных (микротвердость МкТ)

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: $Y = 529,17+55X_1-106,3X_3-16,3X_4+8,8X_1X_3$ (3.3)	
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: $M_{KT} = 2488,6+8,23D_K-6,2T-32,6pH+0,044D_K T$	

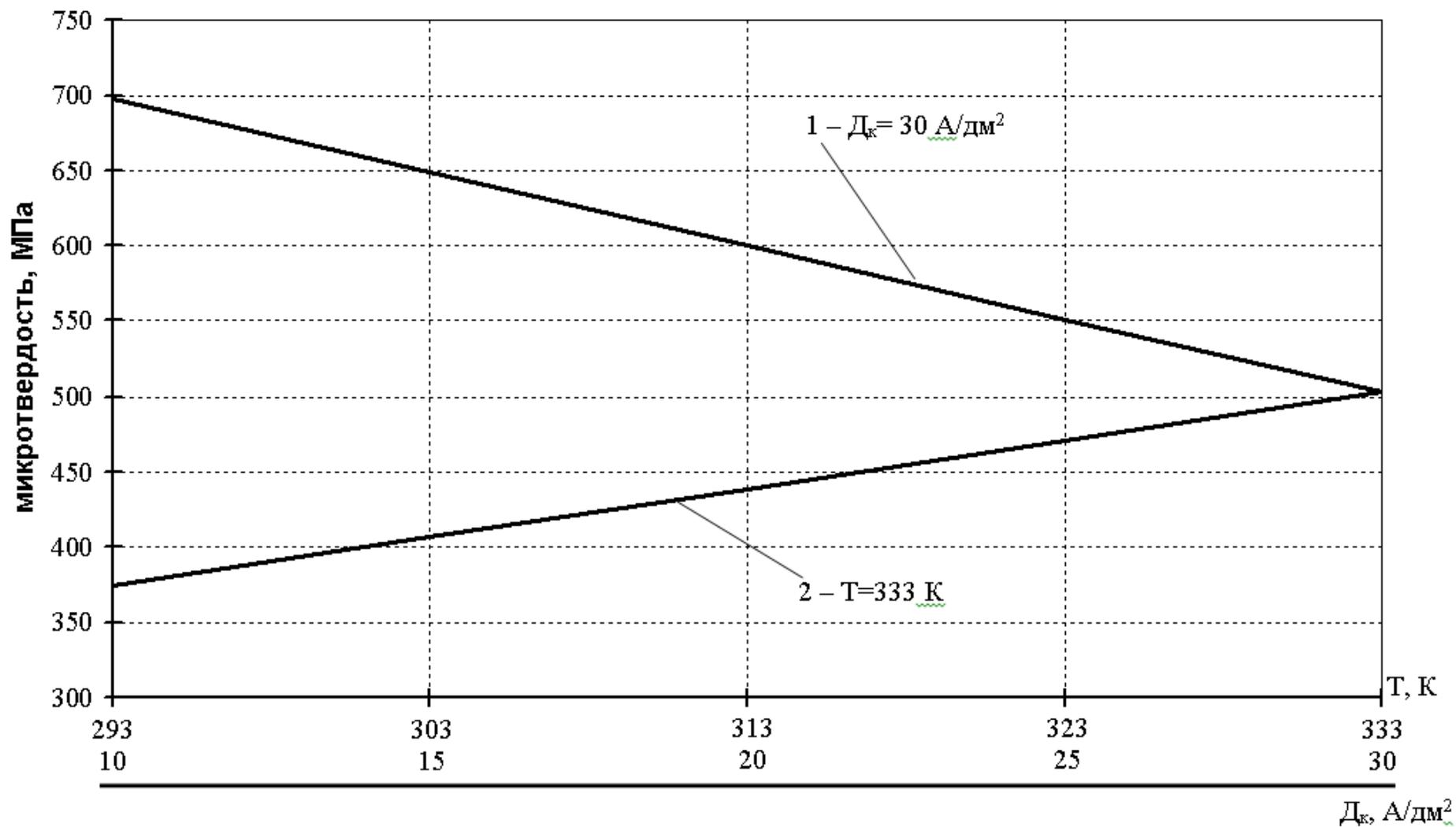


Рис. 3.8. Влияние температуры (1) электролита и катодной плотности тока (2) на микротвердость цинкового покрытия ( $V=0,3$  м/с;  $pH=3,5$ ).

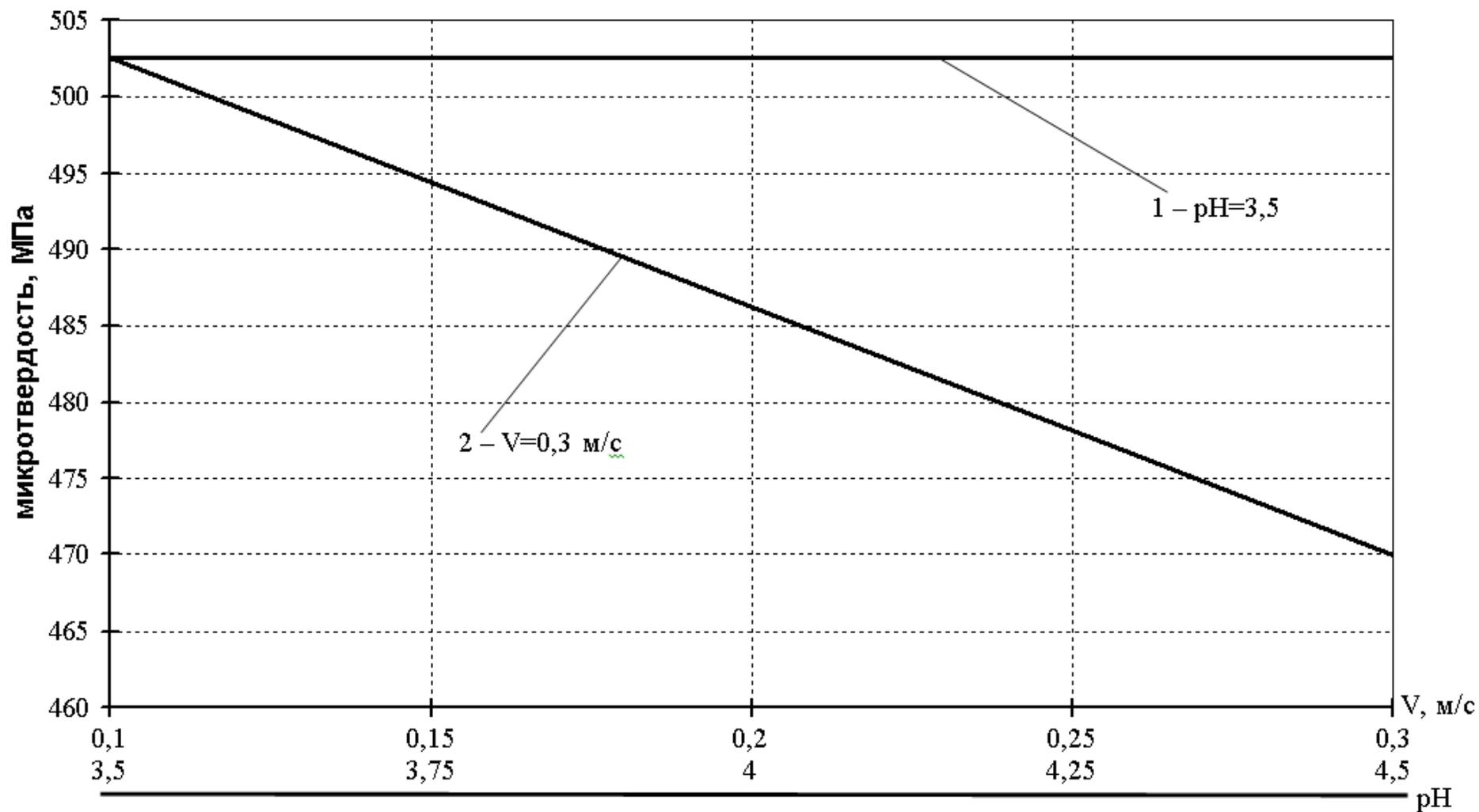


Рис. 3.9. Влияние скорости циркуляции электролита (1) и его кислотности (2) на микротвердость цинкового покрытия ( $D_k=30 \text{ А/дм}^2$ ;  $T=333 \text{ К}$ ).

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. А так же 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 выше перечисленных явлений, то есть не оказывает ни какого 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/дм<sup>2</sup> 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.

Анализ результатов исследований позволил нам сделать заключение об оптимальном режиме электролиза, при котором 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 <sup>2</sup> .....	25-30
Кислотность электролита рН .....	3,5-4,5.

#### **3.4. 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 получены осциллограммы, описывающие вибрационные процессы в восстановленных узлах при различной толщине цинкового гальванопокрытия, две из которых приведены на рис. 3.10 и 3.11 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.

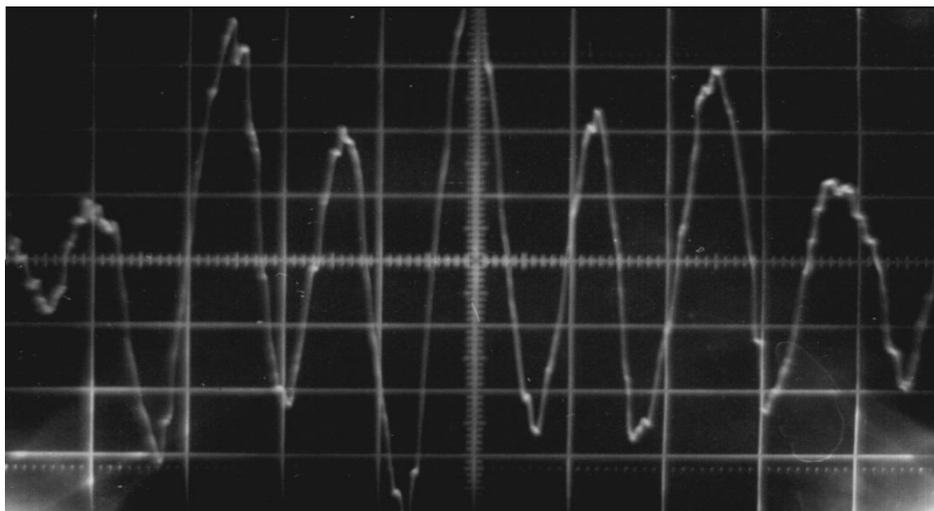


Рис 3.10. Осциллограмма общего уровня вибраций в исследуемом узле.  
Толщина цинкового гальванопокрытия  $h = 0$  мкм.

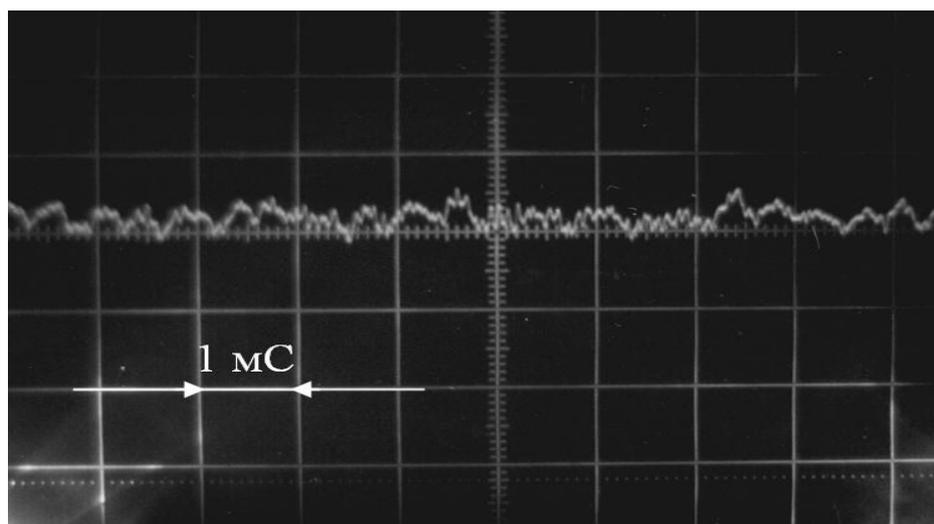


Рис. 3. 11. Осциллограмма общего уровня вибраций в исследуемом узле.  
Толщина цинкового гальванопокрытия  $h = 0,6$  мкм.

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.

### 3.5. Выводы

1. Получены математические зависимости прочности сцепления от режимов анодного травления чугуна и начального периода осаждения цинка.

2. Получены математические зависимости микротвердости цинкового покрытия от режима электролиза (уравнения).

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

4. 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 $\tau$ , с	45-35
Начальный период осаждения	
Время выдержки без тока $\tau_1$ , с	20-30
Катодно-анодный показатель $\beta_n$	1,25-1,5
Начальная катодная плотность тока $D_{кн}$ , А/дм <sup>2</sup>	10-15
Температура электролита Т, 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 <sup>2</sup>	25-30
Температура электролита Т, К	293-303
Кислотность электролита рН	3,5-4,5
Скорость циркуляции электролита V, м/с	0,2-0,3

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

#### 4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Предлагаемый технологический процесс электролитического проточного цинкования целесообразно применять для восстановления посадочных отверстий под подшипники чугунных корпусных деталей. Возможно восстановление и других чугунных деталей.

На основе проведенных исследований и априорных данных 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.

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, позволяющие одновременно растачивать все отверстия с одной установки детали. 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 (известь наносится кистью, можно заменить отходами ацетиленового генератора).

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, температуре раствора 293-303К, кислотности 3,5-4,5 рН. Анодная плотность тока 25-30А/дм<sup>2</sup> время обработки 35-45 с.

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 $\tau_1$ , с.....	30-20;
начальная катодная плотность тока $D_{кн}$ , А/дм <sup>2</sup> .....	10-15;
начальный катодно-анодный показатель $\beta_n$ .....	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 <sup>2</sup> .....	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%-ном 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%-ный 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%-ном 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 4.1.) 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.

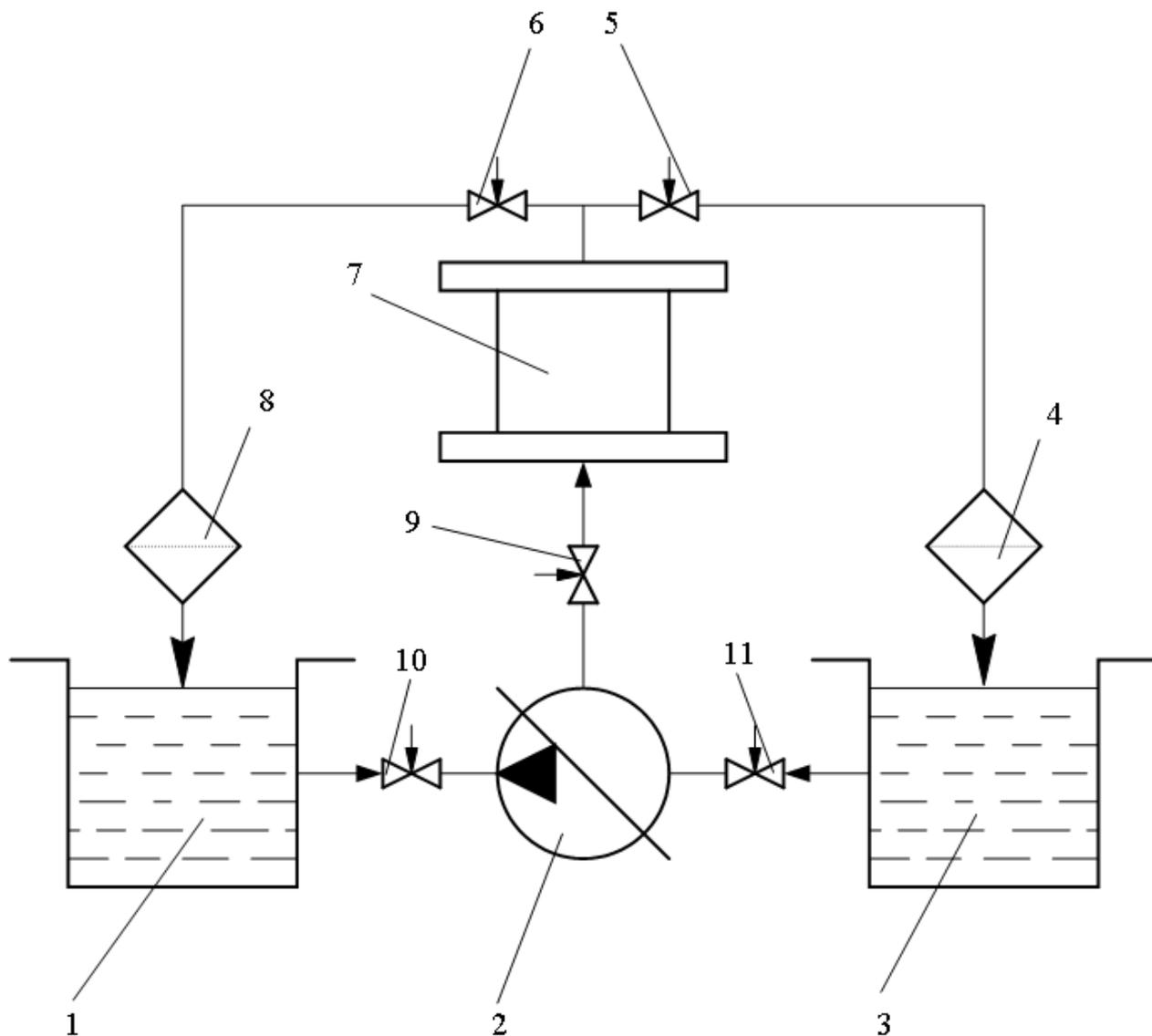


Рис. 4.1. Принципиальная гидравлическая схема установки для проточного цинкования

- 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 употребление и электромагнитных вентилей типа СВА, СВМ, заменив резиновые прокладки и уплотнители на фторопластовые.

Применение электромагнитных вентилях позволяет механизировать процесс их открытия и закрытия. 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 4.1). 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 активизирующие 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 серноокислого цинка во всей схеме технологического процесса позволяет повысить его надежность.

Определенное значение имеют способы герметизации обрабатываемых поверхностей. Наиболее приемлемым является герметизация каждого посадочного отверстия корпусной детали с образованием при этом индивидуальных электролитических ячеек (рис 4.2).

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.

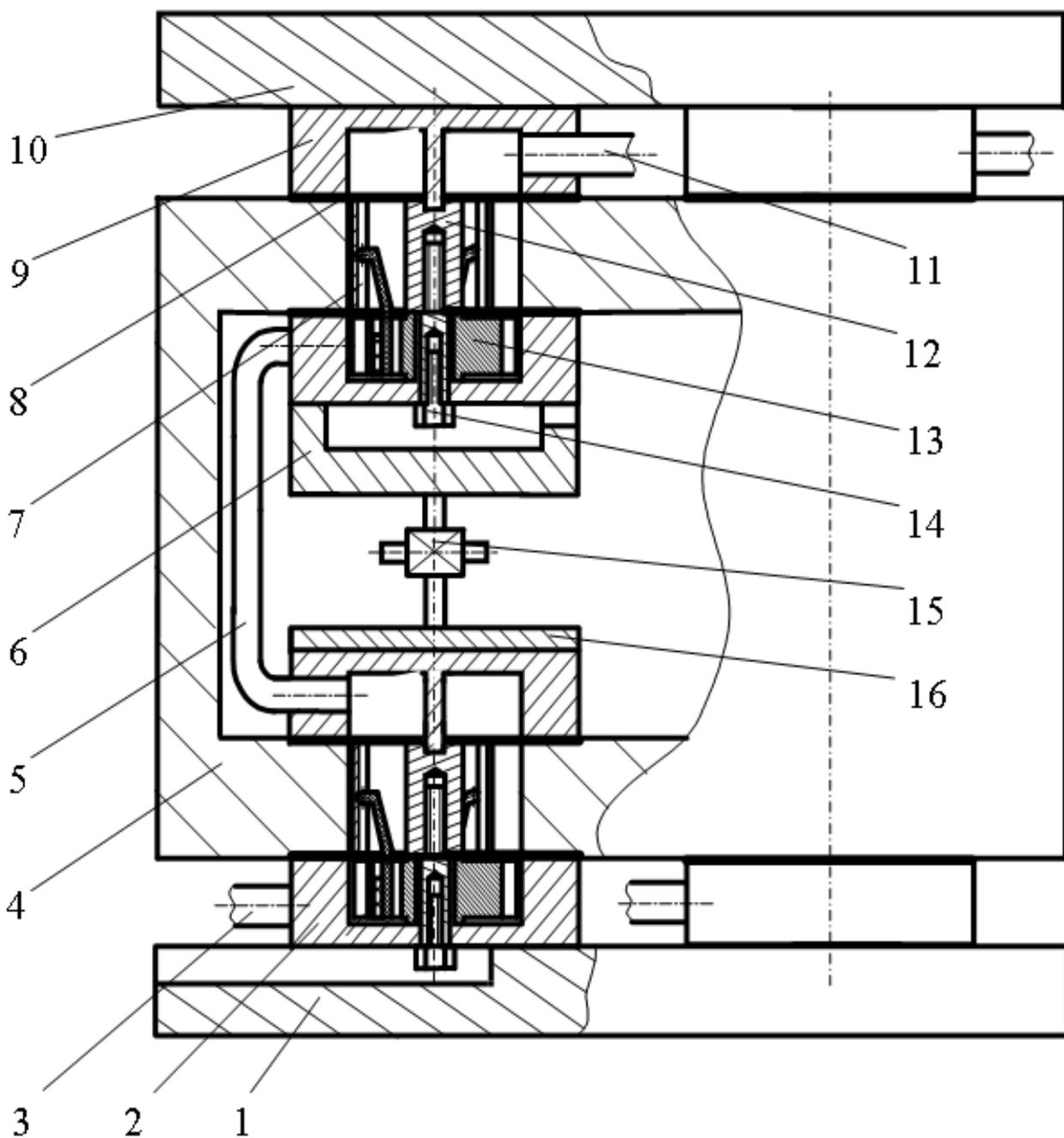


Рис. 4.2. Схема расположения электролитических ячеек на посадочных отверстиях корпуса коробки передач  
 1 – плита опорная; 2 – фланец нижний;  
 3 – штуцер подводящий; 4 – корпус коробки передач;  
 5 – шланг соединительный; 6 – стакан;  
 7 – активирующий элемент; 8 – прокладка уплотнительная;  
 9 – фланец верхний; 10 – плита прижимная;  
 11 – штуцер отводящий; 12 – анод; 13 – крыльчатка;  
 14 – токоподвод; 15 – муфта распорная;  
 16 – пластина прижимная.

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.

## 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/дм<sup>2</sup>; время травления  $\tau$  45-35с.

**Начальный период осаждения:** время выдержки без тока  $\tau_1$  20-30 с; катодно-анодный показатель  $\beta_n$  1,25-1,5; начальная катодная плотность тока  $D_{кн}$  10-15 А/дм<sup>2</sup>; 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/дм<sup>2</sup>; 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.

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.

## 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. Курчаткин, В.В. Надежность и ремонт машин [Текст] / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов. – М.: Колос, 2000 – 776 с.
5. Ремонт чугунных корпусных деталей тракторов [Текст]. – М.:Колос, 1969. – 127 с.
6. Котин, А.В. Восстановление точности размерных цепей сборочных единиц применением нежестких компенсаторов износа [Текст]: автореф. дис. док. техн. наук / А.В. Котин. – Саранск, 1998. – 39 с.
7. 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. – Москва. 2000. – с.31.
8. 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
9. Ульман, И. Исследование режима двухэлектродной вибродуговой наплавки [Текст] / И. Ульман, К. Дондоков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000 . – №4. – с.19.
10. 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.

11. Моос, Е.Н. Методы и средства повышения эффективности восстановления деталей автотракторных ДВС при плазменном напылении [Текст]: автореф. дис. на соиск. уч. степени д.т.н / Е.Н. Моос. – Рязань, 1997. – 35 с.

12. Эне, К.И. Точность сборки неподвижных соединений подшипников качения, восстановленных анаэробными герметиками [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук / К.И. Эне. – Москва, 1993. – 17 с.

13. 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.

14. 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.

15. Бурумкулов, Ф. Восстановление посадочных отверстий полимерами [Текст] / Ф.Бурумкулов, П. Лезин, А. Котин // Автомобильный транспорт. – 1991. – №5. – с.44.

16. 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. – Москва, 1999 – с. 127-128.

17. Суворин, А. В. Влияние частоты вращения образца на нанесение цинкового покрытия электронатирированием [Текст] / А. В. Суворин, С.Л. Савин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – №9. – с.28.

18. 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.

19. 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. – Москва, 2000 – с.75.

20. Горобец, В.Ф. Восстановление внутренних цилиндрических поверхностей крупногабаритных деталей машин гальваномеханическим железнением [Текст]: автореф. дис. док. техн. наук / В.Ф. Горобец. – Кишинев, 1999. – 27 с.

21. Захаров, Ю.А. Устройство для электролитического нанесения покрытий проточно-контактным способом с активацией восстанавливаемой поверхности [Текст]: сб. научн. 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.

22. Захаров, Ю.А. Влияние анодной обработки в серноокислом 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.

23. 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, Заявлено 16.07.1999; Оpubл. 10.09.2000.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. Обеспечение работы мобильных машин в условиях отрицательных температур [Текст] / Ю. А. Захаров, Е.Г. Рылякин, И.Н. Семов [и др.] // Молодой ученый. — 2014. — №17. — С. 56-58.

29. 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.

## СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация -----	4
Введение -----	5
1. Состояние исследуемого вопроса -----	7
1.1. Способы восстановления поверхностей посадочных отверстий корпусных деталей машин -----	7
1.2. Зависимость прочности сцепления покрытия с основой от подготовки поверхности к электролитическому цинкованию -----	18
1.3. Выводы и задачи исследований -----	24
2. Программа и методика экспериментальных исследований -----	25
2.1 Программа экспериментальных исследований -----	25
2.2 Экспериментальная установка -----	25
2.3 Методика определения прочности сцепления цинкового покрытия с чугуном -----	35
2.4 Методика сравнительных исследований виброгасящих свойств цинкового покрытия и чугуна СЧ 18 -----	37
2.5 Методика определения микротвердости получаемых цинковых гальванопокрытий -----	39
2.6 Методика изучения граничного слоя между основой и покрытием ---	41
2.7 Методика исследования влияния режимов электролиза на микротвердость цинкового гальванопокрытия -----	42
2.8 Определение повторности опытов -----	44
3. Результаты исследований и их анализ -----	46
3.1 Исследование влияния режимов анодной обработки на прочность сцепления цинковых покрытий с серым чугуном -----	46
3.2. Исследование влияния режимов начального периода осаждения цинка на прочность сцепления его с чугуном -----	51

3.3. Исследование влияния режимов электролиза на микротвердость покрытия -----	59
3.4. Результаты сравнительных исследований виброгасящей способности цинкового покрытия и чугуна СЧ 18-----	66
3.5 Выводы -----	68
4. Производственные рекомендации -----	69
Заключение -----	76
Библиографический список -----	78
Содержание -----	82
Приложения -----	84

