



Монография

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ХРОМИРОВАНИЕМ



ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т. Г. ШЕВЧЕНКО
Бендерский политехнический филиал

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ,
РАБОТАЮЩИХ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОМ
ИЗНАШИВАНИИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ
ХРОМИРОВАНИЕМ**

Монография

Тираспол
*Издательство
Приднестровского
Университета*
2024

УДК 669.268
ББК 30.83:34.44
К82

Рецензенты:

В.К. Фёдоров, д-р техн. наук, проф., ген. директор ОАО «ИРБИС» г. Москва
А.В. Димогло, канд. техн. наук, и.о. зав. каф. технических систем и электрооборудования в агропромышленном комплексе аграрно-технологического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко

Котомчин, А. Н.

Восстановление деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании электролитическим хромированием : Монография / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин, Е. Ю. Ляхов ; Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко, Бендерский политехнический филиал. – Тираспол : Издательство Приднестровского университета, 2024. – 176 p. : fig.

Cerințe de sistem: PDF Reader.

Referințe bibliogr.: p. 135-152 (160 tit.).

ISBN 978-9975-3610-8-8 (PDF).

629.3:669.26

К 736

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований методом интенсификации процесса осаждения хрома и способов энергосбережения при восстановлении и упрочнении деталей автомобилей гидропривода, работающих при гидроабразивном изнашивании. Был произведен поиск путей повышения выхода металла по току, увеличения скорости его осаждения, сохранения и улучшения известных положительных физико-механических и эксплуатационных свойств хромовых покрытий. Описаны результаты теоретических изысканий и интенсификации электрохимического хромирования при электролизе с получением оптимального состава и режимов осаждения. Изучены основные физико-механические и эксплуатационные свойства хромовых покрытий, имеющих перспективу широкого использования при восстановлении и упрочнении деталей автомобилей. Разработан технологический процесс восстановления деталей новым способом хромирования и проведено технико-экономическое обоснование разработанной технологии.

Издание предназначено для широкого круга специалистов и может быть использовано аспирантами и студентами высших учебных заведений по направлениям подготовки 15.03.01 «Машиностроение»; 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»; 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»; 23.05.02 «Транспортные средства специального назначения».

УДК 669.268
ББК 30.83:34.44

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

ISBN 978-9975-3610-8-8 (PDF)

© А.Н. Котомчин, В.А. Зорин, Е.Ю. Ляхов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Восстановление как способ поддержания автомобиля в работоспособном состоянии	8
2. Анализ отказов специализированных автомобилей	11
3. Анализ ресурсопределяющих деталей, влияющих на надёжность специализированных автомобилей	16
4. Перспективные способы восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании	20
5. Хромирование, как один из перспективных способов восстановления деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании	26
6. Интенсификация процесса электролитического хромирования	28
7. Методика и оборудование, используемое для исследований хромовых покрытий	34
8. Оптимизация состава электролита хромирования с целью получения покрытий с высокими электрофизическими свойствами	48
9. Оптимизация режимов электролиза при получении хромовых покрытий....	60
10. Оптимизация работы ванны с холодным саморегулирующимся электролитом хромирования при восстановлении деталей автомобилей	65
11. Исследования адгезионных свойств и износостойкости хромового покрытия	72
12. Влияние режимов травления и подготовки поверхности на качество хромовых покрытий	80
13. Коррозионные испытания хромовых покрытий	89
14. Производственные рекомендации при восстановлении деталей хромированием	92
15. Разработка типового технологического процесса и рекомендации при использовании для восстановления деталей автомобилей хромированием	108
16. Техничко-экономическое обоснование разработанной технологии восстановления золотника хромированием	123
Список использованной литературы	135
ПРИЛОЖЕНИЕ А	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	158

ВВЕДЕНИЕ

С целью повышения надёжности узлов и агрегатов при производстве и ремонте автомобилей необходимо разработать рациональные способы упрочнения и восстановления ресурсопределяющих деталей. Известно, что в Приднестровье и странах СНГ за последние 20–30 лет произошли большие изменения в системе технического обслуживания (ТО) и ремонта автомобильной техники. Практически исчезли предприятия, осуществляющие капитальный ремонт автомобилей и агрегатов. Эксплуатация автомобилей по лизингу имеет высокую стоимость, в которую включены операции по ТО и ремонту техники. Ремонт при лизинге заключается в замене неисправных деталей или агрегатов новыми или снятыми с автомобилей-доноров. Автомобили, импортирующиеся автотранспортными предприятиями (АТП) Приднестровья и стран СНГ, обслуживаются и ремонтируются с использованием собственной производственно-технической базы, которая уже не отвечает современным требованиям на проведение ТО и ремонта. При этом использование в процессе ремонта автомобилей на АТП неоригинальных деталей снижает надёжность, что увеличивает стоимость эксплуатации автомобилей в целом. Поэтому использование восстановленных оригинальных деталей, имеющих высокий остаточный ресурс, имеет важное значение для снижения эксплуатационных затрат [30, 31].

Так, высокую надёжность при эксплуатации агрегатов автомобилей, которые работают при гидроабразивном изнашивании, определяет качество упрочнения и восстановления деталей. Зачастую использование запасных частей автомобилей ненадлежащего качества снижает ресурс агрегатов и узлов, приводя к отказам чаще, чем использование восстановленных деталей с использованием прогрессивных технологий с затратами менее 50 % стоимости новой детали. Использование в Приднестровье и странах СНГ автомобилей, имеющих возраст более 10 лет, составляет 50...80 %, при этом интенсивность отказов сильно возрастает, а стоимость эксплуатации увеличивается в 2–3 раза по сравнению

с новым автомобилем. Часто после снятия с производства модели автомобиля, особенно иностранного производства, поставка оригинальных запасных частей прекращается через 5 лет. Дальнейшее производство запасных частей осуществляется третьими странами (Китай, Таиланд и др.), в которых качество и ресурс деталей снижается на порядок. Поэтому восстановление оригинальных деталей, имеющих необходимый остаточный ресурс, имеет важное значение для обеспечения надежности и снижения затрат на эксплуатацию автомобилей в целом [30].

В процессе эксплуатации автомобилей, использующих гидропривод, дизельную аппаратуру при возникновении неисправностей его прецизионных деталей, приводит к высоким затратам на ремонт, что в свою очередь увеличивает стоимость эксплуатации. Основная причина отказов данных деталей гидропривода, топливных насосов (золотники, плунжера и т. д.) – гидроабразивное изнашивание. Известно, что работоспособность агрегатов, работающих при гидроабразивном изнашивании, в значительной степени зависит от качества обработки, материала и способа упрочнения при изготовлении и ремонте ресурсопределяющих деталей. Поэтому качество рабочей поверхности этих деталей в значительной части определяет безотказную работу гидроагрегатов исполнительных механизмов, топливных систем дизельной аппаратуры, а также других узлов.

Так, в процессе эксплуатации специальных автомобилей износ золотников гидрораспределителей является причиной отказов гидравлической системы исполнительных механизмов (гидрораспределителя, гидронасоса) в 40–50 % случаях всех отказов узлов и агрегатов. Это вызвано условиями работы деталей – высокие давления с недостаточно хорошо очищенной гидравлической жидкостью при попадании продуктов изнашивания и пыли. В результате продольных перемещений и высокого давления происходит интенсивное изнашивание и разрушение рабочей поверхности деталей с потерей работоспособности гидроагрегатов и узлов в целом. Так, например, даже незначительный износ прецизионной пары золотник-корпус приводит к падению производительности и надёжности гидроагрегата с последующим выходом его из строя.

Известно, что многие ответственные детали гидропривода, такие как золотники гидроусилителей, гидрораспределителей, плунжера насосов и другие, работающие в тяжёлых условиях, изготавливаются из высоколегированной конструкционной стали с малыми припусками и допусками, что откладывается на стоимости детали и узла в целом. В связи с этим к деталям при производстве и восстановлении предъявляются высокие технологические и экономические требования. Восстановление работоспособности деталей гидропривода приведет к значительной экономии материальных затрат при ремонте агрегатов и узлов специализированной автотранспортной техники, снизит затраты на новые запасные части, имеющие зачастую пониженный ресурс.

Таким образом, использование восстановленных деталей, имеющих достаточно большой остаточный ресурс, даст возможность сократить эксплуатационные затраты предприятий, а разработка технологий упрочнения и восстановления деталей делает целесообразным их использование, но при условии, что ресурс восстановленной детали будет не меньше 80 % ресурса новой детали.

Основными способами восстановления работоспособности золотников гидроусилителей, гидрораспределителей, плунжеров насосов являются: перекомплектовка и притирка, шлифование под ремонтные размеры, намораживание, алитирование, наплавка в жидких теплоносителях, лазерная технология, плазменное и детонационное напыление, электроискровая наплавка, формирование электролитических покрытий – хромирование. Однако использование вышеперечисленных методов требует использования обязательной конечной операции – притирки с корпусом гидроусилителя, гидрораспределителя, гильзы плунжера и т. д. При этом происходит поверхностное температурное воздействие на рабочую поверхность, что приводит к образованию на ней микротрещин и фреттинг-коррозии, которые являются местами концентрации остаточных напряжений, приводящих к образованию сколов и выкрашиванию рабочей поверхности деталей. Возникновение этих процессов во время работы приводит к заклиниванию восстановленной детали – золотника, плунжера и, как следствие, полной потери работоспособности агрегата –

гидроусилителя, гидрораспределителя, масляного и топливного насоса. Кроме того, нужно учесть, что воздействие температуры приводит к изменению структуры восстановленной поверхности и появлению шелушения и коробления поверхности, что в свою очередь снижает ресурс, и смысл использования данных методов восстановления детали теряется.

1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАК СПОСОБ ПОДДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЯ В РАБОТОСПОСОБНОМ СОСТОЯНИИ

В настоящее время в Приднестровье и странах СНГ увеличилось разнообразие марок и моделей автомобилей. При этом в Приднестровье, как и в России, плохо развита производственно-технологическая база предприятий, эксплуатирующих специальный автотранспорт, с целью обеспечения качественного ремонта автомобилей и их агрегатов. Поэтому данная ситуация привела к увеличению расходов на эксплуатацию автомобильной техники, так как проведение ремонта осуществляется на устаревшем, не отвечающем современным требованиям оборудовании. Кроме того, используются запасные части, которые не всегда являются оригинальными (заводскими). В результате этого снижается ресурс автомобиля и их агрегатов, что ведёт к большим простоям в ремонте, к увеличению себестоимости грузовых и пассажирских перевозок [53, 67].

Для повышения эффективности использования автомобилей необходимо содержать их в работоспособном состоянии. Это требует использования хорошо оснащённой ремонтно-обслуживающей базы, за счёт увеличения возможностей и развития сети современных предприятий по ремонту как отечественных, так и иностранных автомобилей. Кроме того, будет востребованность по восстановлению работоспособности их оригинальных ресурсоопределяющих деталей.

В результате анализа литературных источников было выявлено, что количество используемых новых запасных частей при проведении капитального ремонта автомобилей достигает 48–70 %. При этом их количество может увеличиваться при повышении конструктивной сложности автомобилей (Например, для самосвалов КамАЗ – 60,6 % и ГАЗ-3309 – 61,1 %, а для мусоровоза на базе автомобиля Мерседес Бенц – 66,2 %). Восстановление изношенных деталей автомобилей и оборудования – технико-экономическое оправданное мероприятие, которое позволяет ав-

тотранспортным предприятиям сократить время простоя из-за устранения неисправностей техники, а также повысить качество технического обслуживания и ремонта. Также эти мероприятия положительно влияют на показатели надежности автомобилей в целом при их технической эксплуатации [67].

Поддержание автомобилей в работоспособном состоянии можно достичь за счёт организации работы по восстановлению деталей, вследствие чего будет снижаться себестоимость ремонта агрегатов в целом. Кроме того, будет повышаться ресурс отремонтированных агрегатов за счет сокращения затрат на новые запасные части и, как следствие, снижаться расходы на эксплуатацию автомобилей на предприятиях в целом.

Проведённые академиком В.И. Черноивановым исследования по определению качества восстановленных или использованных повторно деталей автомобилей показали, что наиболее часто доля однотипных деталей, которые годны для дальнейшего использования без ремонта, составляет 20–45 %. При этом подлежащие ремонту и восстановлению составляет – 40–60 %, а непригодных для восстановления 9–20 % [67].

Известно, что значительные объёмы ремонтного фонда деталей в условиях острого дефицита многих оригинальных запасных частей, пренебрегать остаточным общественным трудом считается нецелесообразным.

По данным при восстановлении деталей по сравнению с изготовлением новой детали число операций сокращается в 5–8 раз, а расход материалов в 20–30 раз.

В условиях Приднестровья, России и стран СНГ при увеличении объёмов восстановления деталей существенно снизятся затраты предприятий, эксплуатирующих автомобили на приобретение новых запасных частей, и тем самым снизится себестоимость ремонта автомобилей. Данное утверждение обосновано отсутствием централизованных поставок запасных частей, а также увеличением количества «контрафактных» неоригинальных деталей автомобилей. Кроме того, существенное влияние на это оказывает отсутствие достаточного финансирования для снабжения и приобретения новых оригинальных запасных частей, стоимость которых высокая из-за проблем с покупкой и доставкой.

С целью высокого качества ремонта автомобилей возникает объективная необходимость организации работ, по восстановлению ресурсопределяющих изношенных деталей. Для таких деталей есть необходимость восстанавливать их геометрический размер и форму для обеспечения технических требований. Такими деталями у двигателей внутреннего сгорания являются блоки и головки цилиндров и др., у шасси – детали ходовой части, корпуса агрегатов трансмиссии и др., у гидропривода специальных автомобилей – детали, работающие при гидроабразивном изнашивании, такие как золотники, плунжера, штоки гидроцилиндров, корпуса насосов и золотников и т. д.

Известно, что совершенствование способов восстановления деталей позволяет улучшать их как технические, так и эксплуатационные качества за счёт использования современных приёмов обработки и приработки после восстановительных операций, а также за счёт улучшения геометрии посадочных и сопрягаемых деталей. Улучшения качества восстановленных деталей возможно достичь за счёт повышения твёрдости и износостойкости рабочих поверхностей путём использования новых перспективных или усовершенствования существующих способов – напыление, наплавка, гальванические и полимерные покрытия. Благодаря использованию данных способов восстановления возможно не только восстановить размеры и форму изношенной поверхности, но и достигнуть значений ресурса, превышающих исходно заявленные.

Обоснование выбора рационального способа восстановления изношенных деталей посвящено множество работ, которые дают возможность заключить следующее [5, 20, 31]:

- 1) целесообразно выбирать способ исходя из условий работы детали и технических требований на изготовление;
- 2) себестоимость восстановления детали не должна превышать 50 % от стоимости новой детали;
- 3) восстановленная деталь должна обладать ресурсом не менее 80 % ресурса новой детали.

Ниже представлены основные критерии выбора способа восстановления деталей (рис. 1).



Рис. 1. Критерии выбора способа восстановления деталей автомобилей

Кроме перечисленных требований при выборе способа восстановления деталей автомобилей есть также ещё требования, но одним из них является технологическая возможность с внедрением в производство. Особенно это касается сложных технологических процессов, таких как восстановление деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании, которые изготавливаются из легированной стали с последующей термической обработкой, что усложняет выбор способа восстановления.

2. АНАЛИЗ ОТКАЗОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Известно, что в мире, в том числе в России и Приднестровье, на перевозку строительных грузов приходится 35–40 % от общего объёма всех перевозок. В качестве автомобилей, используемых для данных грузов, наибольшую долю занимают специализированные автомобили (самосвалы, автокраны, цементовозы и т. п.) [87, 88].

При этом использование специальных автомобилей имеет большое значение для экономики Приднестровья, а также России и стран СНГ. Так, в Приднестровье, как и во всём мире, для проведения дорожно-строительных и работ по благоустройству городов и поселков используется множество различных специальных автомобилей, которые имеют наработку агрегатов и узлов на отказ, меньшую от регламентных значений заводов изготовителей.

В процессе использования специальных автомобилей возникают неисправности и отказы агрегатов в связи с увеличением нагрузки на силовые агрегаты и гидропривод. При проведении анализа надёжности специальных автомобилей, используемых на коммунальных и дорожно-строительных предприятиях Приднестровья, было выявлено, что использование в дополнении рабочего оборудования снижает надёжность в целом.

Известно, что специальный автомобиль используется при проведении дорожно-строительных работ, а также при использовании для перевозки специфических грузов, которые требуют определённых условий перевозки, погрузки и разгрузки. К ним относятся сыпучие и жидкие грузы, твёрдые бытовые отходы и др. При этом техническое состояние данных автомобилей оказывает влияние на своевременное и эффективное выполнение качественной работы. В результате анализа технического состояния парка специальных автомобилей, эксплуатирующихся предприятиями Приднестровья выявлено, что парк данных автомобилей используется с превышающими амортизационными сроками. Это приводит к частым потерям работоспособности из-за выхода из строя агрегатов, имеющих предельный ресурс, что увеличивает затраты на ремонт и, в частности, на запасные части. Однако проведя анализ литературных источников, было определено, что рабочее оборудование теряет свою работоспособность в процессе эксплуатации ещё до наступления амортизационных сроков. Это связано с загруженностью рабочего оборудования и несвоевременным обслуживанием агрегатов и узлов гидропривода. Поэтому необходимо было узнать частоту отказов для получения достоверных данных, благодаря которым возможно использовать резервирование необходимых запасных частей и агрегатов. Кроме того, благодаря определению частоты отказов агрегатов можно выявить ресурсопределяющие детали, которые необходимо или можно будет восстанавливать с целью снижения затрат на ремонт и дальнейшую эксплуатацию специальных автомобилей [30, 87, 110].

В связи с этим необходимо было провести исследования влияния условий эксплуатации специальных автомобилей на работоспособность и долговечность.

Поэтому дальнейшие исследования проводили на предприятиях Приднестровья, которые эксплуатируют парк специальных автомобилей. Наблюдения проводились в течение 2019–2021 года. За базовое предприятие было выбрано МУП «КоммуналДорСервис» г. Бендеры, так как его парк обладает наибольшим разнообразием по дорожно-строительным и коммунальным направлениям, при этом используется разномарочный парк специальных автомобилей (табл. 1).

Для достоверности сбора и анализа данных, влияющих на техническое состояние и условия эксплуатации на ресурс узлов и агрегатов специальных автомобилей, полученную информацию регистрировали в журнале наблюдений и опросных листах по каждой единице специального автомобиля в отдельности.

Таблица 1

Специализированные автомобили МУП «КоммуналДорСервис» г. Бендеры			
Наименование техники	Марка и базовое шасси	Количество, шт	Средняя наработка с начала эксплуатации
Мусоровоз	КО-415А на базе МАЗ и КамАЗ	12	325000 км
Мусоровоз	Ecopic на базе Mercedes benz	10	458000 км
Самосвал	КамАЗ-5511	10	275000 км
Самосвал	ЗИЛ ММЗ-555	5	282000 км
Самосвал	МАЗ-5337	2	302000 км
Самосвал	MAN 35	8	386000 км

При проведении наблюдений за специальными автомобилями, было установлено (табл. 1), что специальные автомобили имеют большую среднеарифметическую наработку с начала эксплуатации в связи со спецификой экономического положения предприятий Приднестровья, использующих специальные автомобили. Это оказывает существенное влияние на частоту отказов агрегатов и узлов специальных автомобилей. В процессе исследований было выявлено, что в основном отказы узлов и агрегатов устраняли заменой новой или заранее отремонтированными

детальями. Однако, иногда устранение отказов заменой детали не устраняло причину возникновения, из-за чего через короткий период могли возникнуть однотипные отказы, приводящие к потере работоспособности. Например, замена гидрораспределителя с некачественными новыми золотниками могла привести к выходу гидрораспределителя. При этом было выявлено, что в большинстве случаев при возникновении отказов узлов и агрегатов их заменяли новыми, или заранее отремонтированными. В результате этих наблюдений были получены сведения о возникновении отказов после их устранения.

В процессе проведения наблюдений за специальными автомобилями предприятий Приднестровья были взяты под контроль автомобили наибольшего количества: самосвалы (на базе КамАЗ и МАЗ) и мусоровозы (на базе Mercedes-benz, КамАЗ и МАЗ), это связано с тем, что в них используется большое количество различного рабочего оборудования, управляемого с помощью гидропривода. На основании анализа возникновения неисправностей, была разработана структура отказов основных узлов и агрегатов специальных автомобилей, а также в отдельности структура наиболее значимых агрегатов. В ней были выделены отдельные узлы и агрегаты, имеющие наибольшее количество отказов в процессе эксплуатации, а также в отдельности рассмотрены детали и узлы агрегатов и систем, которые значительно влияют на работоспособность автомобиля (рис. 2, 3).



Рис. 2. Структура отказов на примере самосвала КамАЗ-5511

При анализе полученных результатов было выяснено, что наибольшее количество отказов у самосвалов занимает гидравлическая система (рис. 2), на которую приходится 32 % всех отказов, при этом на рабочие органы (кузов) и шарниры рабочего оборудования приходится соответственно 23 и 11 %, что согласуется с данными [61, 87, 88].

Основными причинами такого количества отказов являются в основном условия эксплуатации специальных автомобилей и их конструктивно-технологические характеристики. Это связано с высокой загруженностью в процессе эксплуатации рабочего оборудования, которое управляется с помощью гидропривода, а также с несоблюдением технических требований и рекомендаций в процессе ремонта и обслуживания. Так, например, использование некачественных запасных частей и эксплуатационных материалов оказывает значительное влияние на работоспособность специальных автомобилей и появление отказов при выполнении технологических операций при работе.

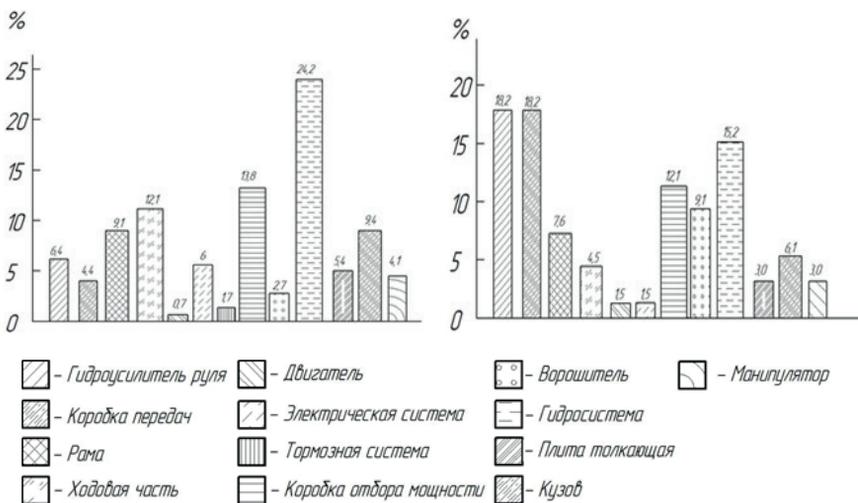


Рис. 3. Структура возникающих отказов у мусоровозов на базе автомобиля:
 а – Мерседес-бени, б – КамАЗ и МАЗ

Проанализировав полученные результаты по отказам и неисправностям, возникающим в процессе эксплуатации мусоровозов на базе автомобилей Мерседес-бенц и КамАЗ, использующих наибольшее количество рабочего оборудования (рис. 3), было выяснено, что так же как у самосвалов и у мусоровозов наибольшее количество отказов приходится на гидравлическую систему (гидропривод). Она используется в приводе управления рабочими органами при проведении необходимых технологических операций (погрузка, разгрузка, уплотнение). При этом было выяснено, что количество отказов, приходящихся на гидроусилитель руля и кузов мусоровозов отечественного производства, большее по сравнению с мусоровозами на базе автомобиля Мерседес-бенц, это соответствует данным, которые приведены в работах [87, 88, 110, 124].

3. АНАЛИЗ РЕСУРСОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЁЖНОСТЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В результате анализа потока отказов, возникающих в гидравлическом приводе мусоровозов (рис. 4), было выявлено, что основными агрегатами и узлами, влияющими на работоспособность автомобиля, являются гидронасосы (плунжерные, аксиально-поршневые и шестеренчатые), гидрораспределители, гидроцилиндры и др. (рис. 4), работающие при высоких нагрузках, что согласуется с результатами исследований.

Выполненный анализ количества отказов деталей и узлов гидравлического привода специальных автомобилей, которые эксплуатируются предприятиями Приднестровья, выявил, что наибольшее количество отказов приходится в осенне-зимний период (на 20–80 %). Поэтому простой специальных автомобилей в ремонте увеличивается в 1,2–1,5 раза, что соответствует результатам исследований, полученным в работах. Это связано с климатическими условиями работы автомобилей, так как при отрицательных температурах в узлах и деталях гидропривода нарушаются зазоры, а также увеличивается нагрузка из-за повышения вязкости гидравлической жидкости, а также замерзания конденсата и значительного ухудшения состояния резинотехнических уплотняющих деталей.

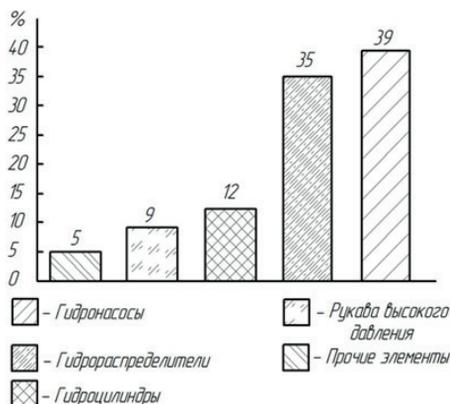


Рис. 4. Структура отказов, возникающих в гидравлическом приводе

В результате анализа возникающих отказов специальных автомобилей, которые эксплуатируют на предприятиях Приднестровья, были определены средние наработки на отказ по узлам и агрегатам автомобиля (табл. 2).

Согласно данным (табл. 2), наибольшая вероятность потери работоспособности автомобиля из-за отказов, возникающих в узлах и агрегатах гидропривода, – у гидронасосов, гидрораспределителей и гидроцилиндров.

Таблица 2

Средние наработки возникновения отказов узлов и агрегатов специальных автомобилей

№	Агрегат или механизм	Наработка, км пробега
1	Двигатель	15600
2	Рулевой механизм	23400
3	Рабочие узлы	5100
4	Электроприборы и оборудование	14900
5	Трансмиссия (КПП и задний мост)	13290
6	Гидрораспределитель	9100
7	Гидронасос (плунжерный)	8900
8	Гидроцилиндры	9600

№	Агрегат или механизм	Наработка, км пробега
9	Соединительные шланги	10700
10	Рама и кузов	24400

При проведении анализа надёжности гидрораспределителей, используемых на специальных автомобилях, было выявлено, что ресурсоопределяющим узлом является золотниковая пара. На ресурс золотниковой пары оказывают значительное влияние условия эксплуатации, при этом основной причиной снижения ее ресурса является гидроабразивное изнашивание.

Так, средний срок работы гидрораспределителей составляет не менее 4 лет, при этом средняя наработка составляет 4000–6000 моточасов. Однако полученные данные по предприятиям Приднестровья, которые эксплуатируют специальный автотранспорт, говорят о возникновении отказов при меньшей наработке, что обусловлено низким качеством обслуживания и ремонта, а также отсутствием оригинальных деталей, это соответствует полученным результатам исследований.

При проведении исследований возникающих неисправностей, приводящих к потере работоспособности гидрораспределителей выявлено, что наибольшее влияние оказывает исправность золотниковой пары, которая подвержена гидроабразивному изнашиванию (табл. 3).

Золотниковая пара является основным ресурсоопределяющим узлом гидрораспределителей, износ которой приводит к полной потере работоспособности агрегата. Одной из причин потери работоспособности золотников является гидроабразивный износ их рабочих поверхностей. Причинами гидроабразивного износа являются недостаточная твёрдость поверхности, большая шероховатость, наличие микротрещин и др.

Известно, что поверхностная обработка и упрочнение играют значительную роль при изготовлении и упрочнении деталей автомобилей, подверженных различным видам изнашивания, из которых гидроабразивное приводит к наибольшим износам рабочих поверхностей золотников.

Виды дефектов гидрораспределителей, приводящих к потере работоспособности

№ п/п	Дефект	Кол-во возникающих неисправностей, раз.	Доля дефектов, %
1.	Потеря герметичности	45	22,06
2.	Потеря регулировки предохранительных клапанов	41	20,10
3.	Износ золотниковой пары	45	22,06
4.	Износ предохранительных клапанов	14	6,86
5.	Износ обратных клапанов	12	5,88
6.	Нарушение целостности уплотнений золотников	12	5,88
7.	Поломка обратной пружины золотников	6	2,94
8.	Поломка пружины клапана в золотнике хода	5	2,46
9.	Царапины и царапины рабочей поверхности золотников	4	1,96
10.	Прочие дефекты	20	9,80
	Всего	204	100

Рассмотрим процессы, происходящие при гидроабразивном изнашивании деталей. Изнашивание рабочей поверхности происходит при высоких давлениях в сочетании с наличием частиц продуктов износа в жидкости из-за плохой фильтрации или превышением интервала замены масла при обслуживании техники. При этом на поверхности возникают высокие давления с абразивным воздействием твёрдых частиц. Поэтому данные детали подвергают поверхностной закалке.

Однако для надёжной работы деталей, участвующих при гидроабразивном изнашивании, необходимо, чтобы шероховатость была не выше 0,16...0,32 мкм, так как увеличение высоты неровностей может приводить к ускоренной фреттинг-коррозии. Это обусловлено повреждением поверхности золотника из-за высо-

кого давления контакта и перемещения с разрушением защитной окисной плёнки металла. При этом возникают процессы окислительного разрушения с увеличением очага на поверхности контакта.

Также одним из факторов, влияющих на работоспособность золотника, является наличие микротрещин на рабочей поверхности деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании. Наличие трещин является одной из причин разрушения и высокого износа золотников. Это объясняется тем, что в процессе работы повышение давления и наличие абразивных частиц в гидравлическом масле могут приводить к концентрации высокого давления в трещинах и постепенному увеличению её размеров с последующим аварийным разрушением рабочей поверхности золотника. Также это можно объяснить возможностью возникновения кавитационных процессов и «схлопыванию» пузырьков при большом давлении, что приводит к гидроударам в области трещины и её роста до критических размеров.

4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ

В результате специфики работы деталей гидропривода при гидроабразивном изнашивании необходимо учесть, предусмотреть и выбрать способ восстановления, позволяющий исключить дефекты поверхностей, которые могут привести к потере работоспособности детали и надёжности агрегата в целом (рис. 5). Поэтому при восстановлении деталей автомобилей предъявляются следующие требования [30, 48, 53, 62, 93]:

1. Толщина и шероховатость покрытия при восстановлении детали должна удовлетворять техническим требованиям.
2. Не должно быть трещин на рабочей поверхности детали.
3. Стоимость восстановления детали не должна превышать 75–80 % от стоимости новой детали.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОПРИВОДА



Рис. 5. Существующие методы ремонта прецизионных деталей гидропривода

Разработка перспективной технологии восстановления работоспособности деталей гидропривода предусматривает глубокий анализ работ, проведенных в этом направлении. В связи с этим возникает необходимость анализа способов восстановления, так как предлагаемые методы восстановления не находят широкого применения на ремонтных предприятиях Приднестровья и России.

Как правило, предложенный метод восстановления не всегда отвечает требованиям, предъявляемым к соединению с точки зрения соответствия вида покрытия ведущему виду износа, а отсюда, как следствие, получается низкий ресурс восстановленного узла. Часто преимущество выбранного метода теряет свою практическую значимость из-за экономической нецелесообразности или технологической сложности его реализации. Можно выделить три основных направления восстановления работоспособности деталей гидропривода, существующих в настоящее время.

Первым и самым распространенным направлением при восстановлении работоспособности данных деталей является перекомплектовка. Восстановление перекомплектовкой имеет ряд существенных недостатков: используются только 30–35 % ремфонда [31, 62, 67]; ресурс агрегатов гидропривода, в частности гидрораспределителей, отремонтированных перекомплектовкой, имеет очень низкий ресурс, что подтверждается практикой и исследованиями других авторов [133]. Таким образом, большая часть ремфонда требует наращивания размеров поясков с исполь-

зованием прогрессивных методов, отвечающих техническим требованиям детали.

Вторым направлением для восстановления работоспособности деталей гидропривода является восстановление деталей пластическим деформированием. Однако, например, технология восстановления золотников [133] также имеет свои недостатки: необходимо применять сложное оборудование и почти все процессы, которые используются при изготовлении серийного золотника; технология не обеспечивает значительного увеличения ресурса отремонтированных гидрораспределителей; большая энергоемкость процесса и т. д.

Третье направление, которое объединяет способы, позволяющие увеличить размеры и надежность восстанавливаемых деталей нанесением различных покрытий, тем самым компенсируя износ и повышая износостойкость поверхностей. Так, в частности в настоящее время используются или прошли производственные испытания такие технологии восстановления золотников, как железнение, хромирование, лазерная технология, плазменное и детонационное напыление, наплавка намораживанием, газофазная металлизация, алитирование в порошковых смесях, ЭИН и др. [133].

Всем вышеперечисленным методам присущи недостатки, которые сдерживают применение их на ремонтно-механических предприятиях. Ими являются: сложность и дороговизна технологического процесса, потребность в высококвалифицированном обслуживающем персонале, высокая энергоемкость процессов, экологическая опасность, эффективность при массовом восстановлении деталей, гальваника и плазма при восстановлении деталей. Они приводят к возникновению так называемого «кромочного эффекта» и, как следствие, к высокому проценту брака и т. д. [18, 41, 65, 81].

Так, по данным работы [40] традиционные методы восстановления создают принципиальные трудности применительно к деталям с малыми износами, поэтому необходима разработка рекомендаций по производственному использованию для восстановления изношенных деталей гидропривода, особенно работающих при гидроабразивном изнашивании. Так, например, разработанная технология восстановления отверстий в корпусах

или золотников гидрораспределителей может быть сопряжена с комбинацией методов, увязанных в одну и ту же технологическую цепочку.

Поэтому для решения задачи использования прогрессивного способа восстановления необходим метод, обеспечивающий локальность обработки, отсутствие нагрева детали, возможность нанесения необходимых износостойких покрытий с высокой прочностью сцепления с основой, низкую энергоемкость и простоту осуществления технологических операций. Необходимо надежное, малогабаритное и транспортабельное оборудование. Таким методом является электроискровая наплавка (ЭИН). К недостаткам процесса следует отнести ограничение толщины получаемых слоев, невозможность использования токонепроводящих материалов, высокая шероховатость покрытий ($R_a = 2,5 \dots 35$ мкм).

Большинство параметров качества поверхностного слоя деталей направленно формируется на финишных этапах технологической обработки [100]. Так, конечными операциями по обработке деталей гидрораспределителей могут быть: чистовое хонингование или доводка при обработке отверстий корпусов; бесцентровая шлифовка и ручная доводка при обработке золотников.

Исследования показывают [124], что алмазное хонингование, при массовом ремонте, обеспечивает высокую производительность и стабильное качество обработки, кроме того, по своим технико-экономическим показателям значительно превосходит другие методы чистовой обработки глубоких и гонких отверстий (развертывание, тонкое растачивание, внутреннее шлифование и хонингование абразивными брусками).

Сопоставление процессов алмазного и абразивного хонингования показало [133], что обработка абразивными брусками незначительно улучшает геометрическую форму отверстий, однако шероховатость поверхности на класс выше. Кроме этого установлено, что алмазное хонингование не снижает микротвердости поверхностного слоя и исключает появление микротрещин, что иногда наблюдается при абразивном хонинговании. Это недопустимо для деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

В Мелитопольском институте механизации и электрификации сельского хозяйства алмазное хонингование использовалось

при исследовании наиболее оптимальной отделочной операции. В итоге была разработана технология обработки отверстий корпусов гидрораспределителей алмазным хонингованием под пять ремонтных размеров [110].

Однако анализ предлагаемой технологии показал, что данный технологический процесс эффективен только при массовом и крупносерийном типе производства, так как предусматривается использование дорогостоящего оборудования, специальной высокоточной технологической оснастки и сложного режущего инструмента. В то же время большинство ремонтных предприятий отдают предпочтение универсальному оборудованию в связи с небольшой программой ремонта деталей одной номенклатуры.

Доводка, как завершающая операция, включается в технологический процесс восстановления всех прецизионных деталей гидропривода для стальных и чугунных пар [120]. Доводка выполняется в среде смазки с помощью мелкозернистого свободного абразивного порошка. Эта операция обеспечивает получение шероховатости в пределах 8–10 классов чистоты и точные геометрические размеры детали. Доводка ведется при малых скоростях и при переменном движении доводочного инструмента, называемого притиром, относительно заготовки. Этим обеспечивается неповторимость траекторий абразивных зерен, производящих резание при доводке, а, следовательно, и снижение шероховатости поверхности.

В зависимости от требуемой точности и шероховатости поверхности (от степени зернистости применяемых порошков) процесс доводки разделяют на предварительный и окончательный. Окончательная доводка близка к полированию, абразивные зерна снимают только слой окислов, не затрагивая основного материала. Производительность (съем металла) при доводке зависит главным образом от зернистости доводочного материала, материала притира, продолжительности, скорости относительного перемещения и давления при доводке [110].

Однако использование вышеперечисленных методов требует использования обязательной конечной операции – притирки с корпусом гидроусилителя, гидрораспределителя, гильзы плунжера и т. д. При этом происходит поверхностное температурное

воздействие рабочую поверхность, что приводит к образованию на ней микротрещин и фреттинг-коррозии, которые являются местами концентрации остаточных напряжений, приводящих к образованию сколов и выкрашиванию рабочей поверхности деталей. Возникновение этих процессов во время работы приводит к заклиниванию восстановленной детали – золотника, плунжера и, как следствие, полной потери работоспособности агрегата – гидроусилителя, гидрораспределителя, масляного и топливного насоса. Кроме того, нужно учесть, что воздействие температуры приводит к изменению структуры восстановленной поверхности и появлению шелушения и коробления поверхности, что, в свою очередь, снижает ресурс и смысл использования данных методов восстановления детали.

Учитывая вышесказанное, ясно, что при выборе способа восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании, в частности, золотников гидроусилителей, гидрораспределителей, плунжеров топливных насосов, необходимо выбирать те, что хорошо устойчивы к температурам, коррозии и разрушению поверхностей. Поэтому одним из перспективных способов является хромирование в холодном саморегулирующемся электролите, с помощью которого получают безтрещиноватые, износостойкие и коррозионностойкие осадки толщиной до 0,5...0,7 мм. Однако данный способ имеет недостаток – сложность использования в производстве из-за малого диапазона рабочих температур электролита (18...23 °C), что требует постоянного охлаждения с увеличением энергозатрат [16, 36, 40].

5. ХРОМИРОВАНИЕ, КАК ОДИН ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ

Литературные источники и ряд работ исследователей [5, 6, 16, 22, 29, 38, 40, 44, 48, 52, 57, 65, 69, 85, 86, 100, 101] анализировали использование электролитического хромирования в качестве восстановления деталей автомобилей. Было установлено,

что из-за сложности внедрения в производства и больших энергетических затрат электролитическое хромирование для восстановления деталей автомобилей не получило широкого применения, в большей степени используется в качестве декоративных и антикоррозионных покрытий. Однако хромированные покрытия обладают следующими преимуществами:

- высокая микротвердость (4000–12000 МПа);
- высокая износостойкость, превышающая эталонные пары трения в несколько раз;
- отсутствие термического влияния на поверхность детали, что исключает снижение усталостной прочности;
- холодостойкость;
- достаточно высокая прочность сцепления с поверхностью детали и др.

Известно, что для получения хромовых покрытий обязательным условием является наличие двух основных компонентов – хромового ангидрида и посторонних анионов (рис. 6).

При этом концентрация хромового ангидрида в электролите хромирования, может варьироваться в пределах 50–700 г/л. Особое значение для получения хромовых покрытий с определённым качеством и производительностью имеет различная концентрация посторонних анионов. При этом их количество по отношению к хромовому ангидриду играет важную роль в процессе формирования хромового покрытия с заданными свойствами и производительностью. В процессе работы ванны хромирования они вместе с хромовым ангидридом расходуются, изменяя концентрацию в растворе электролита, что приводит к изменениям

качества покрытий и производительности. Поэтому при разработке нового состава электролита им уделяется особое внимание [62].

Использование электролитического хромирования в качестве восстановления деталей автомобилей ввиду преимуществ, описанных выше,



Рис. 6. Условие получения хромовых покрытий

позволяет увеличивать ресурс деталей, особенно это касается деталей, которые имеют высокий остаточный ресурс. Однако широкое распространение для восстановления деталей автомобилей электролитическое хромирование не получило ввиду малой толщины получаемых качественных покрытий (0,1–0,3 мм) [39].

Проведенное исследование современных автомобилей, а также прецизионных деталей показало, что предельные износы деталей узлов и агрегатов автомобилей, приводящие к потере работоспособности, находятся в пределах 0,1–0,5 мм [39, 67]. Использование усовершенствованных технологий электролитического хромирования позволяют получать хромовые покрытия толщиной до 0,7 мм с высокой производительностью, что открывает возможность использовать его в качестве способа восстановления.

Поэтому поиск и совершенствование электролитического хромирования с целью увеличения толщины качественных покрытий с высокой производительностью является главной задачей авторемонтного производства с целью снижения издержек на ремонт и восстановление работоспособности агрегатов.

Исследованиями по совершенствованию процесса хромирования для авторемонтного производства занимались такие ученые, как Н.Т. Кудрявцев, Ю.Н. Петров, В.И. Лайнер и др. [80, 81, 100, 101].

Данными авторами было выявлено, что использование хромирования в качестве упрочнения и восстановления деталей автомобилей позволит увеличить межремонтный период в несколько раз, что снизит эксплуатационные затраты автомобилей в целом. Поэтому количество деталей, которые возможно восстанавливать электролитическим хромированием постоянно увеличивается.

Результаты исследований учёного М.П. Стратулат доказали, что использование хромирования для восстановления прецизионных деталей увеличивает долговечность в несколько раз, благодаря чему снижаются затраты на эксплуатацию автомобилей и тем самым затраты автотранспортных предприятий [121, 122].

При этом авторами А.Н. Котомчиным, В.А. Зориним, Н.И. Корнейчуком утверждается, что использование хромирования для восстановления деталей, работающих при гидрообра-

живном изнашивании, имеет важное технико-экономическое значение для предприятий, эксплуатирующих специальные автомобили. Однако требуется проведение исследований по изысканию и совершенствованию способа хромирования с целью получения хромовых покрытий с высокой производительностью и качеством с возможностью внедрения в производство [65, 67, 77, 110].

Результаты проведенного анализа литературных источников и научных работ показывают, что среди всех способов восстановления плунжерных пар, золотников гидрораспределителей хромирование занимает ведущее место по надежности отремонтированных деталей.

6. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ХРОМИРОВАНИЯ

В результате проведенного анализа материала, который изложен в подпункте 5, выявлено, что одним из перспективных способов восстановления и упрочнения деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании, является хромирование.

Согласно данным, приведенным в работах [5, 6, 16, 18, 22, 26, 29, 36, 40, 43, 48, 52, 62, 63, 64, 65, 78, 81, 93, 100, 101, 113, 121, 122, 125, 132, 133, 139, 144, 146, 152, 153, 157], по использованию хромирования в качестве способа восстановления, были выделены препятствия, которые затрудняют широкое использование в ремонте деталей автомобилей. Важным условием использования хромирования является производительность процесса при условии получения покрытий с необходимым качеством.

Одним из важных проблем использования является экологическая составляющая и вредные условия работы в гальваническом подразделении. Поэтому для решения этой проблемы необходимо разрабатывать технологии с использованием хромирования, позволяющие применять электролиты с высокой долговечностью и с наименьшим уносом электролита с целью улучшения условия труда [14].

Поэтому был проведен анализ существующих электролитов, согласно данным работ, были определены основные направления по проведению исследований, направленных на улучшение качества и увеличение производительности получения хромовых покрытий путем использования различных органических и неорганических добавок в сочетании с изменением состава и выбора оптимальных режимов электролиза. Однако данные электролиты не получили широкого использования из-за сложности внедрения в производство и отсутствия рекомендаций практического использования для восстановления деталей автомобилей. Поэтому в дальнейшем проводили исследования электролитов хромирования, обладающих хорошими физико-механическими свойствами и высокой производительностью, имеющих перспективы практического использования – холодные саморегулирующиеся электролиты хромирования.

На основании выполненного анализа работ [36, 56, 57, 64, 78, 121] было установлено, что одними из перспективных электролитов хромирования являются холодные саморегулирующиеся электролиты хромирования, которые обладают рядом преимуществ: высокая производительность и рассеивающая способность, улучшение условий труда (из-за меньшего испарения), снижение выбросов в окружающую среду благодаря низкой рабочей температуре. Кроме того, при использовании данных электролитов снижается накопление внутренних напряжений при получении меньшей пористости и трещиноватости, что делает возможным использовать данный электролит для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

Рассмотрим некоторые холодные электролиты хромирования и сравним их между собой, а также с универсальным (стандартным) электролитом, самым распространённым в производстве.

Холодный электролит типа тетрахроматного был разработан в Кишиневском сельскохозяйственном институте для восстановления деталей автомобилей, тракторов, дорожно-строительной техники и других машин. При его использовании возможно получать качественные трещиноватые осадки, с микротвердостью 8300–9500 МПа, при этом выход по току достигает 40 %, при мак-

симально возможной толщине получаемого качественного покрытия 0,7 мм [38, 11, 16, 23, 24, 35, 56].

Данный электролит не требует подогрева, обладает высокой кроющей и рассеивающей способностью, имеет следующий состав, г/л: хромовый ангидрид 350–400, серная кислота 2,5–2,7, гидроксид натрия 50–60 г/л. Режимы использования следующие: рабочая температура электролита 18–22 °С и катодная плотность тока 10–80 А/дм². Соблюдение данных режимов даёт возможность получать качественные осадки с высоким выходом хрома по току 30–35 %.

Данные покрытия возможно использовать при восстановлении деталей, где при работе необходимо постоянное наличие смазки деталей, например, гильзы цилиндров, шейки валов под подшипники и т. д. При этом, износостойкость данных покрытий близка по свойствам хромовым осадкам, получаемым из стандартного (универсального) электролита. Однако ограничением использования его в производстве являются следующие причины:

1) малый диапазон рабочих температур (18–23 °С), а при увеличении температуры покрытия получают хрупкими с большой сеткой микротрещин;

2) требует использовать дополнительные мощности для охлаждения электролита (холодильные установки), которые увеличивают энергозатраты;

3) высокая агрессивность раствора электролита.

При выборе базового электролита для проведения исследований были проведены существующие перспективные холодные саморегулирующиеся электролиты хромирования.

Автором М. Перак [113, 115, 121] был разработан саморегулирующийся электролит хромирования, содержащий CrO₃ и добавку Chromispel-1. С целью увеличения выхода по току хрома вводили в данный электролит в виде ионов следующие добавки: соединения ванадия (V), молибдена (Mo) и вольфрама (W). При этом оптимальный состав электролита получился следующий: хромовый ангидрид в количестве 100–1000 г/л, йодовая кислота в количестве 10–350 г/л. Режимы осаждения следующие: плотность тока от 50 до 300 А/дм², рабочая температура электролита 18–25 °С.

Дальнейшее увеличение плотности тока приводило к резкому уменьшению выхода по току (рис. 7). Однако при увеличении плотности тока больше 100 А/дм^2 через некоторое время происходило падение напряжения и, следовательно, снижение выхода по току. Это, вероятно, обусловлено появлением на анодах омической плёнки, которая увеличивала сопротивление, вследствие чего происходило падение напряжения.

Однако изучение разработанных холодных саморегулирующихся электролитов хромирования выделило холодный саморегулирующийся электролит хромирования (ХСЭХ) (рис. 7), разработанный А. И. Ковбасюком в Кишиневском ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственном институте в 1972 г. Данный электролит обладает высокой производительностью осаждения и рассеивающей способностью, при этом осаждение происходит при широком диапазоне плотностей тока в пределах $75\text{--}300 \text{ А/дм}^2$, при этом данный электролит обладает малой агрессивностью раствора [121].

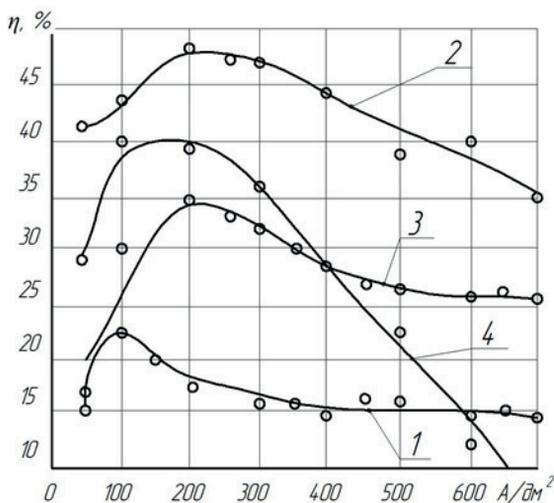


Рис. 7. Влияние катодной плотности тока (А/дм^2) на производительность процесса осаждения (выход хрома по току, %) в электролитах: 1 – сульфатно-кремнефторидного; 2 – Chromispel-1; 3 – универсального; 4 – холодного саморегулирующегося

Данный разработанный электролит был получен в результате проведения исследований влияния неорганической добавки суль-

фата кобальта, при котором получился высокопроизводительный холодный саморегулирующийся электролит хромирования с ионами Co^{2+} следующего состава, г/л: хромовый ангидрид – 400–420, карбонат кальция – 67–75 и сульфата кобальта – 15–20. При этом рабочая температура раствора была в узком интервале – 18–23 °С. Выход хрома по току достигает 40 ± 1 %, скорость осаждения 130–550 мкм/час, при микротвердости осадков 8500–11500 МПа.

Благодаря высоким физико-механическим свойствам и высокой производительности, данный электролит возможно стало использовать для восстановления деталей автомобилей. Однако для деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании была одна трудность – наличие небольшого количества на поверхности стенки микротрещин, приводящее к фреттинг-коррозии, что, в свою очередь, исключало использование для восстановления данных деталей. Поэтому требовалось проведение дальнейших исследований по совершенствованию холодного саморегулирующегося электролита хромирования.

Кроме того, на рис. 8 показаны основные трудности использования ХСЭХ.

Для решения этой задачи был проведен анализ способов интенсификации [6, 43, 63, 64, 122, 132, 137, 149, 150, 157], с целью улучшения характеристик получаемых покрытий для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании. Для этого далее разберем теоретические предпосылки интенсификации для достижения цели.

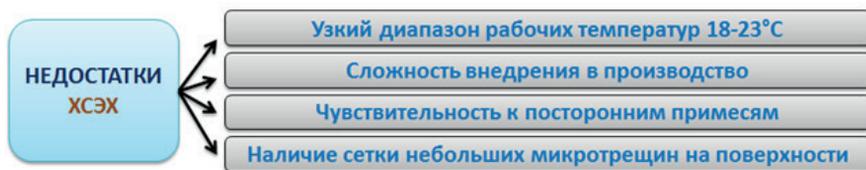


Рис. 8. Основные недостатки ХСЭХ

В результате проведения анализа литературных источников и научных работ было определено, что существуют два основных

пути по совершенствованию процесса электролитического хромирования (рис. 9):

1) использование различных способов и приёмов нанесения покрытий (проточное, гальвано-механическое, анодно-струйное и др.);

2) разработка новых и совершенствование существующих составов электролитов (изменение состава и концентрации растворов, добавление посторонних анионов и др.).

Для дальнейших исследований был выбран наиболее рациональный второй путь, который является более технологически простым для внедрения в производство.

Для проведения дальнейших исследований был произведён анализ существующих электролитов хромирования, который позволит найти оптимальный состав электролита и режимы осаждения. Главной целью исследований – получение хромовых покрытий с высокой производительностью и необходимыми физико-механическими свойствами.



Рис. 9. Пути совершенствования хромирования

Обзор литературных источников и научных трудов [2, 5, 11, 17, 25, 29, 38, 48, 76, 80, 85, 94, 95, 119, 120, 125, 132] показал

большое разнообразие существующих электролитов хромирования, обладающих различной производительностью и различными физико-механическими свойствами. Более подробный анализ данных электролитов изложен в следующих работах [7, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 19, 21, 22, 24, 28, 52, 56, 65, 77, 81, 82, 84, 86, 89, 92, 102, 104, 106, 108, 112, 114, 118, 119, 129, 134, 138, 141, 142, 143, 146, 152, 157, 160].

В результате анализа существующих электролитов было определено, что основными факторами, влияющими на производительность и качество покрытий, являются:

1) концентрация различных органических и неорганических добавок с содержанием посторонних анионов и катализаторов [56, 76] (SO_4^{2-} , F^- , Cl^- , SiF_6^{2-} , SeO_3^{2-} , F^-);

2) режимы осаждения – плотность тока и рабочая температура электролита.

Поэтому дальнейшие исследования направлены на выбор необходимого состава и режимов осаждения хромовых покрытий, целью которого является получение качественных осадков с высокой производительностью и физико-механическими свойствами, с возможностью использования нового состава для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

7. МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Для определения оптимального состава электролита в качестве базового был выбран холодный саморегулирующийся электролит хромирования с неорганическими добавками сульфата никеля и плавиковой кислоты.

Для проведения исследований концентрацию составляющих электролита изменяли, в г/л: CrO_3 – 250...500, через каждые 25–50 г/л; CaCO_3 – 0...80, через 5 г/л; сульфат никеля семи водного ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) – 5...10 и $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 5...10 через каждые 2,5 г/л, а плавиковой кислоты (HF) – 0...2 через каждые 0,05 г/л.

Электролиты хромирования приготавливались на дистиллированной воде из химических реактивов квалификации «ХЧ» и «ЧДА».

В сосуд с известным объемом засыпали навеску хромового ангидрида, необходимую для получения опытной концентрации хромовой кислоты; приливали воду – 2/3 объема; осторожно, мелкими порциями присыпали углекислый кальций, не ожидая полного растворения хромового ангидрида; затем вводили компонент, содержащий анион – «катализатор» (SO_4). Плотность раствора измерялась ареометром при температуре 20 °С.

Оптимальный состав электролита и режимы электролиза (с точки зрения производительности процесса хромирования) отрабатывались путем изменения концентрации компонентов, катодной плотности тока и температуры. Затем в полученный раствор присыпали опытное количество одной из указанных добавок.

Химический анализ растворов производился по специальной методике, разработанной сотрудниками НИЛ «Реновация машин и оборудования» ПГУ им. Т.Г. Шевченко [73]. Методика проведения химических анализов растворов электролитов в процессе проведения исследований показана в приложении (см. прил. А).

Хромовые покрытия наносились на образцы нескольких групп, которые изготавливались для проведения исследований и определения:

- 1) количественного значения выхода хрома по току и скорости осаждения металла;
- 2) микротвердости поверхности и по толщине хромовых осадков;
- 3) фазового состава электролитического хрома;
- 4) износостойкости хромовых покрытий;
- 5) прочности сцепления покрытий с подложкой и микроструктуры.

Лабораторные исследования с целью изыскания наиболее эффективных условий электролиза (с точки зрения скорости наращивания слоя хрома и качества покрытий) производились в стационарной ванне.

Комплект рабочего оборудования составлял:

1. Ванны хромирования емкостью 3 и 8 л.
2. Источники питания.
3. Установка для автоматического регулирования и поддержания рабочей температуры раствора.

1. Электрощит с пусковой, регулировочной и контрольно-измерительной аппаратуры.

2. Ванна емкостью 5 л для электрохимического травления образцов.

Ванны – стеклянные химико- и теплостойкие, винипластовые. Внутри каждой из них вмонтирован змеевик-теплообменник, изготовленный из цельнотянутой стальной трубки. К каждой группе образцов соответственно были изготовлены специальные подвесные приспособления и свинцовые аноды (свинец с содержанием 6 % сурьмы и 5 % олова). Отношение площади катода к аноду изменялось от 1–2 до 1–4, а межэлектродные расстояния – 50...100 мм.

Образцы изготавливались из Стали 45 ГОСТ 1050-88 цилиндрической формы, диаметром 12 мм (рис. 10), с общей площадью покрываемой поверхности 0,075 дм² в стационарной ванне, объёмом 3 л. Питание электролизёра осуществлялось от источника постоянного тока с двухполупериодной схемой выпрямления. Перед нанесением электролитических покрытий образцы подвергали обезжириванию в венской извести и анодному травлению в 30%-м водном растворе серной кислоты с добавкой соли сульфата железа в количестве 15 ÷ 20 г/л при температуре электролита травления 20 ± 1°С. Все образцы после обезжиривания и травления тщательно промывались в дистиллированной воде и просушивались.

Экспериментальная установка была изготовлена специально для исследований и оборудована необходимыми устройствами [79], приспособлениями и приборами. Внешний вид установки хромирования и щита управления представлен на рис. 11.

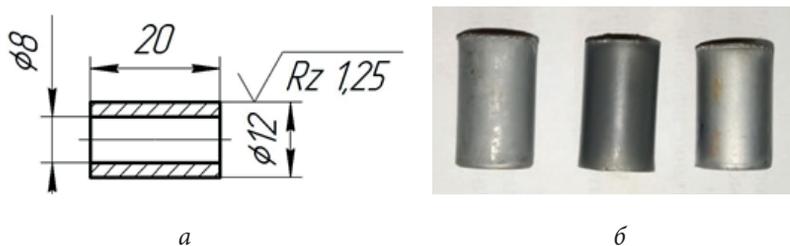
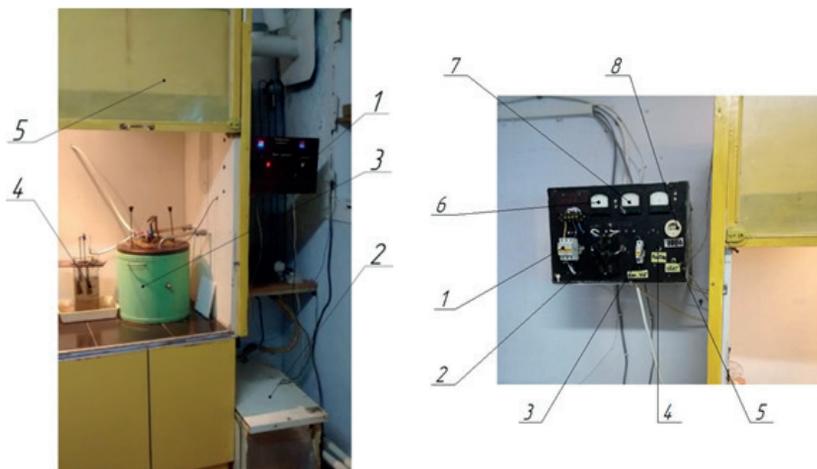


Рис. 10. Образец-втулка: а – чертёж, б – покрытые хромом



а

б

Рис. 11. Установка для исследований гальванических покрытий хрома: а – установка для поддержания заданных температурных режимов: 1 – пульт управления установкой по контролю и поддержанию температуры электролита, 2 – ёмкость охладителя, 3 – бак с ванночкой для хромирования, 4 – ванночка для травления, 5 – вытяжной шкаф; б – пульт управления установкой для хромирования: 1 – трёхфазный автомат, 2 – ключ управления электролизом, 3 – однофазный автомат установки по контролю и поддержанию температуры, 4 – тумблер включения вытяжки в шкафу, 5 – тумблер включения освещения в шкафу, 6 – вольтметр, 7 – амперметр, 8 – розетка на 220 В

При проведении исследований катодную плотность тока (D_k) изменяли от 50 до 250 А/дм² и температуру электролита ($T_{эл.}$) от 18 до 40 °С, через каждые 2,5...5 °С, с точностью $\pm 0,5$ °С. Изменения и контроль температуры электролита осуществлялись с помощью разработанной установки для поддержания рабочей температуры электролита. Плотность тока рассчитывали, как силу тока, приходящуюся на единицу площади электрода, А/дм²:

$$D_k = \frac{I}{F}, \quad (1)$$

где I – сила тока, А; F – площадь покрываемой поверхности (катода), дм²

После сушки образцы взвешивались на весах 1 класса точности ВАЛ-200 с точностью до 10^{-5} г, и определялся выход хрома по

току. Микрометром МК 0-25 по ГОСТ 6507-90 измерялась толщина покрытия, как косвенного показателя выхода по току.

Выход тока гравиметрическим методом вычисляли по формуле, %:

$$\eta = \frac{m_{\phi}}{m_{\tau}} \cdot 100, \quad (2)$$

где m_{ϕ} – фактическое количество осаждённого хрома, г

$$m_{\phi} = G_2 - G_1 \quad (3)$$

где G_1 – первоначальная масса образца перед покрытием хромом, г; G_2 – масса образца после покрытия хромом, г; m_{τ} – теоретически возможное количество выделенного на катоде хрома, г

$$m_{\tau} = c \cdot I \cdot T, \quad (4)$$

где c – электрохимический эквивалент хрома (0,324 г/А·ч) [105]; I – сила тока, А; T – время электролиза, ч.

Скорость осаждения хрома (h , мкм/ч) рассчитывалась по формуле:

$$h = \frac{D_{\kappa} \cdot \eta \cdot c}{d}, \text{ мкм/час} \quad (5)$$

где D_{κ} – катодная плотность тока, А/дм²; η – выход хрома по току, %; c – электрохимический эквивалент хрома (0,324 г/А·ч); d – удельный вес электролитического хрома (~ 6,9 г/см³) [18, 109].

После приготовления электролита для хромирования, делалась необходимая обязательная его проработка, с целью выделения в растворе трёхвалентного хрома в количестве от 2...10 г/л, чтобы производительность вышла на заданную величину.

Режим электролиза следующий: травление – $D_{\text{А}} = 120...130$ А/дм², в течение 1,5...2 мин. Декапирование в электролите хромирования – $D_{\text{А}} = 50...200$ А/дм², в течение 30-60 с. Хромирование производилось в диапазоне плотностей тока – $D_{\kappa} = 50...250$ А/дм², с температурным режимом электролиза – $t_{\text{эл}} = 18...40$ °С. Анодное травление в электролите хромирования после завершения элек-

тролиза – $D_A = 50 \dots 250 \text{ А/дм}^2$, в течение 1,5...2 мин – для снятия межэлектродных напряжений в хромовом покрытии.

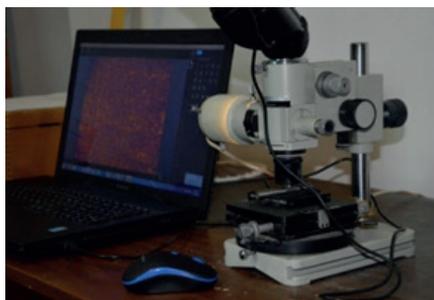
После проведения осаждения хрома образцы тщательно промывались в тёплой и холодной дистиллированной воде, потом просушивались на воздухе в течение 1 часа и далее помещались в муфельную печь и просушивались при температуре $200 \pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$ с целью вывода водорода из хромированной поверхности и улучшения физико-механических свойств покрытия. Процесс проводили в течение 1...1,2 часа.

Величину микротвёрдости определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3 с нагрузкой на индентор 0,98 Н (в соответствии с ГОСТ 9450-60) при толщине покрытия более 200 мкм.

Для исследования морфологии покрытия использовали оптический микроскоп ММУ-3 с цифровой приставкой для подсоединения компьютера (рис. 12), при использовании которой получалось 250, 600 и 1000 кратное увеличение изображения. Оценка качества хромового покрытия производилась по величине микротвёрдости, отсутствию дендритов и магистральных сквозных трещин на хромированной поверхности.



а



б

Рис. 12. Микроскоп ММУ-3 с цифровой приставкой: *а* – вид микроскопа с цифровой приставкой; *б* – подключенная приставка к персональному компьютеру

Для приготовления микрошлифов хромировались образцы на толщину 0,2...0,5 мм. Изучение трещиноватости и микротвердо-

сти хромовых покрытий производилось с помощью микроскопа ММУ-3 с приставкой для оцифровки изображения на компьютер. Для изучения микроструктуры по толщине хромовых покрытий изготавливались микрошлифы, которые для наглядного определения хромового покрытия предварительно перед изучением протравливались в 30 % растворе хромового ангидрида, при обратной полярности тока в течение 7–10 с.

Проверка прочности сцепления хромового покрытия с основной деталью осуществлялось в виде многократной запрессовки и выпрессовки подшипников с помощью ручного гидравлического пресса с усилием 10 тс по ГОСТ-9.302-88 с использованием оправки для запрессовки-выпрессовки подшипника (рис. 13).

В качестве образца исследований использовали вал, изготовленный из материала Сталь 45 ГОСТ-1050-88, с обработанной шейкой под покрытие с номинальным диаметром 19,60 мм, толщина покрытия 0,25–0,30 мм. Контртело – подшипник шариковый, радиально-упорный № 204 ГОСТ 831-75.

Хромирование осуществлялось до диаметра 20,1...20,2 мм. После хромирования шейки вала шлифовали до диаметра 20,04...20,05 мм (рис. 14).

Для определения прочности сцепления хромового покрытия с поверхностью образца применяли формулу:

$$\tau_{\text{пр.сц.}} = \frac{N}{\pi \cdot d \cdot h}, \quad (6)$$

где $\tau_{\text{пр.сц.}}$ – прочность сцепления (касательное напряжение при сдвиге), МПа; N – сила сдвига, Н; d – диаметральный размер образца, мм; h – толщина хромового покрытия, мм.

Оценку сравнительной износостойкости электролитических хромовых покрытий, осаждённых из разработанного электролита, выполняли с помощью машины трения СМЦ-2М по ГОСТ 23.224-86 с использованием цифрового осциллографа (рис. 15) [74].



Рис. 13. Пресс на 10 тс с оправкой для испытаний на прочность сцепления

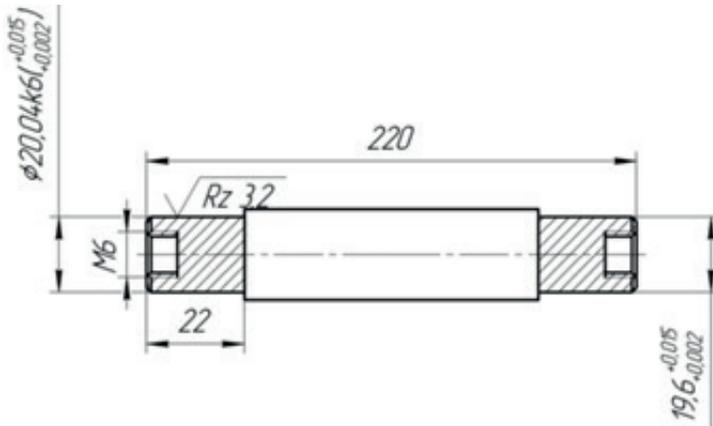


Рис. 14. Чертеж вала, для испытания на прочность сцепления



Рис. 15. Машина трения СМЦ-2М для испытания хромовых покрытий на износ

В качестве образцов служили ролики диаметром 49,6 мм и длиной 12 мм, изготовленные из стали 40Х и хромированные на толщину 0,30...0,35 мм из расчета, чтобы после механической обработки размер их диаметра составлял $\text{Ø}50^{+0,01}$ мм (рис. 16, 17).

Подготовка к испытаниям, покрытие хромом и обработка образцов-роликов проводились на оборудовании предприятия НП ЗАО «Электромаш» г. Тирасполь (Приднестровье). Обработка состояла из операции шлифования, которая производилась в оправке на одном и том же станке при режимах, исключающих образование шлифованных трещин и повреждений на наружной

поверхности исследуемых покрытий. Окружная скорость шлифовального круга (24А 40П С1 5К5 ГОСТ2424-75) – 35 м/сек; поперечная подача за двойной ход стола – 0,002...0,005 мм; окружная скорость образца 10...15 м/мин; продольная подача – 2 мм/об образца; расход смазочно-охлаждающей жидкости 20...30 л/мин. Шероховатость обработанной поверхности находилась в пределах $Ra = 0,63...0,32$ мкм [75, 127].

В качестве контртела служила колодка (чугун СЧ 21 ГОСТ 1412-93) с площадью контакта 1 см². Количество оборотов ролика составляло 450 мин⁻¹. Для обеспечения граничного трения и окислительного изнашивания использовалось моторное масло марки М10Г₂, которое подавали с периодичностью по 1 капле в течение 3–5 мин, для этого использовали капельницу с регулировкой подачи с помощью микрометрического винта. Для максимального прилегания колодки к ролику использовалось шарнирное опора. Перед началом испытаний проводили подгонку поверхности колодки с роликом, для этого использовали абразивный круг диаметра 50 мм с малой зернистостью, который закрепляли вместо ролика на валу.

Состояние поверхностей трения изучали с помощью микроскопа ММУ-3 (на наличие задиров, сколов, микротрещин, выкрашиваний и др.). В процессе начального периода изнашивания запись момента трения производилась автоматически посредством компьютера и преобразователя аналогового сигнала в цифровой сигнал.

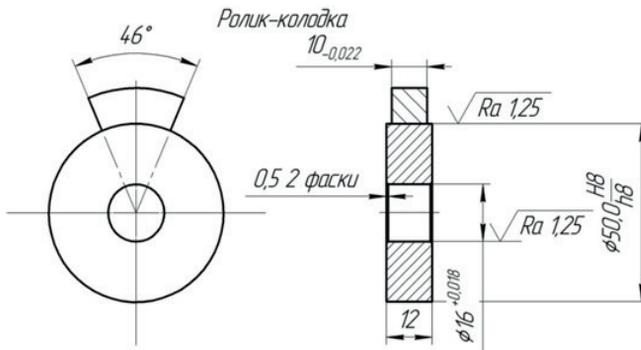


Рис. 16. Чертёж ролик-колодка для испытаний на износ

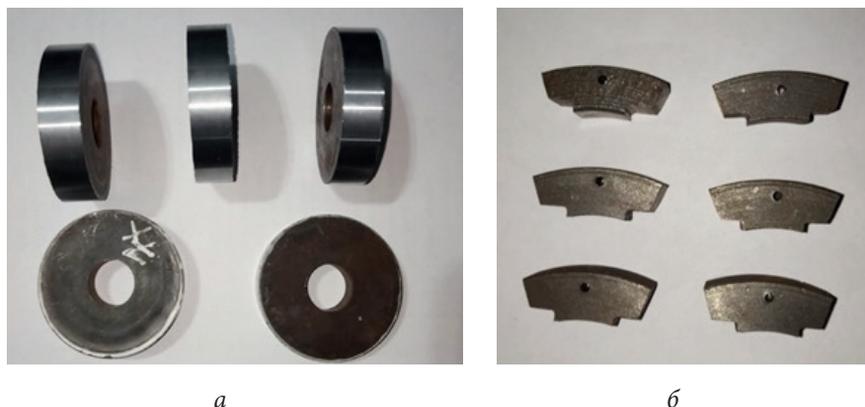


Рис. 17 – Фото образцов для испытаний на износ: а – ролики покрытые хромом, б – колодка (контртело)

При проведении испытаний образцов для определения динамики приработки пары трения ролик-колодка на машине трения СМЦ-2М, кроме измерения износа необходимо было измерять изменение температуры образца (рис. 18). Благодаря этому стало известно изменение коэффициента трения образца, а также изменение шероховатости пятна контакта колодка-ролик в процессе трения и, тем самым, качество смачивания смазкой поверхности ролика, покрытой износостойким материалом.

Контроль температуры в зоне трения испытуемого образца, осуществлялся при помощи термопары 3 (рис. 18), с помощью осциллографа Hantek 1008, подключённого к машине трения СМЦ-2М [74].

Из рис. 18 видно, что при испытании пары ролик-колодка предлагается установить термопару (ГОСТ Р 8.585-2001) в отверстие, выполненное непосредственно в колодке 2, что позволит более точно определять изменение температуры и тем самым косвенно выявить процесс приработки пары ролик-колодка, при трибологических испытаниях покрытого ролика-образца 1 хромом. Термопара 3, как датчик, будет присоединяться к одному из каналов осциллографа Hantek 1008 и через программное обеспечение Charter3 версии v1.0.5 сигнал преобразовывался в график, выводимый на персональный компьютер.

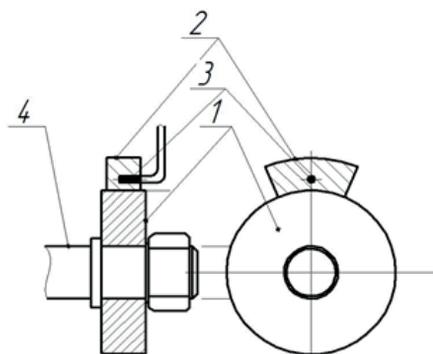


Рис. 18. Контроль температуры в зоне трения образца (ролика) при помощи термопары в районе колодки: 1 – испытуемый ролик, 2 – колодка, 3 – термопара, 4 – вал машины СМЦ-2М

Для определения возможного механизма электролитического осаждения хрома осуществляли поляризационные исследования в гальваностатическом режиме на потенциостате марки П-5848 с использованием стандартной трехэлектродной электрохимической ячейки ЯСЭ-2 с разделенными катодным и анодным пространствами на платиновом индикаторном электроде с применением платинового вспомогательного и хлорсеребряного электродов сравнения. Время развертки тока составляло 750 с. Измерение потенциала рабочего электрода проводили электронным мультивольтметром с точностью 0,01 мВ и частотой фиксации 1 Гц с постоянным переносом информации на персональный компьютер. Регистрация показаний мультивольтметра производилась программным обеспечением «UT61C_D» V3.03 [64].

Разработанная установка позволяла изменять и контролировать температуру электролита.

Для разработки установки были проведены расчёты необходимой длины змеевика-теплообменника и мощности циркуляционного насоса. Для этого производился подбор необходимых характеристик для соответствующей гальванической ванны, в зависимости от вида покрытия и технологии его нанесения.

Разработанная установка позволила провести необходимые исследования с достаточной точностью и достоверностью, благо-

даря которой снизилась инертность гальванической установки в целом, что положительно отразится на качестве осаждаемых покрытий.

Схема данной установки для поддержания необходимых режимов при проведении осаждения хрома на образцах показана на рис. 20.

Поддержание рабочей температуры электролита производилось следующим образом: в зависимости от необходимой рабочей температуры электролита в диапазоне $t_{эл.} = 18-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, предварительно включая компрессор охладителя 1 или нагреватель 16 (рис. 20), которые связаны с реле регулятором температуры на панели управления (рис. 19).

При включённом компрессоре охладителя 1 через испарители 3 нагоняется температура в аккумуляторной ёмкости 6 до необходимой рабочей температуры $t_{ж} = 0-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, которая будет достаточна для отвода тепла в ванне осаждения. После достижения верхней заданной температуры компрессор 1 будет включаться с необходимой периодичностью. Управление работой компрессора будет осуществляться с помощью датчика 12 и реле регулятора на панели управления компрессором холодильника (рис. 20) в заданном диапазоне. Также в баке возможно получать температуру ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, благодаря использованию в качестве охлаждающей жидкости рассола или антифриза [79].

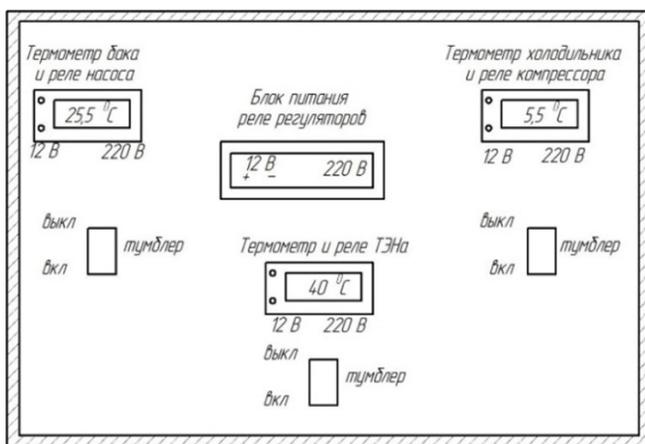


Рис. 19. Панель управления температурным режимом исследовательской установки хромирования

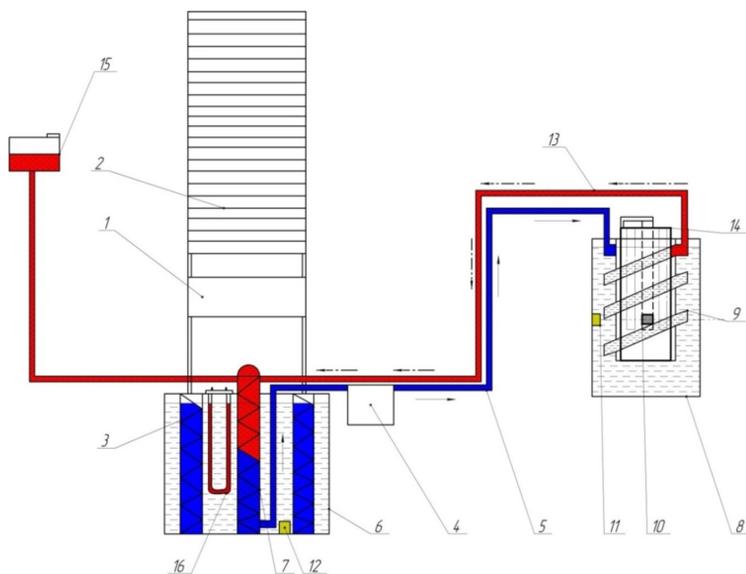


Рис. 20. Схема работы установки для проведения исследований: 1 – двигатель-компрессор, 2 – конденсатор, 3 – испаритель, 4 – насос, 5 – трубопровод низкой температуры, 6 – аккумуляторная ёмкость, 7,9 – теплообменники, 8 – гальваническая ванна, 10 – навеска с покрываемыми деталями, 11 – датчик регулятора температуры в ванне нанесения покрытия, 12 – датчик регулятора температуры охладителя, 13 – трубопровод высокой температуры, 14 – ванна нанесения покрытия, 15 – расширительный бачок, 16 – нагревательный элемент ТЭН

Принцип работы установки. Для ускорения теплообмена используется многоскоростной жидкостный насос 4, который качает охлаждающую жидкость через теплообменники аккумуляторной ёмкости 6 и гальванической ванны 8 (рис. 20). Насос 4 включается с помощью тумблера на панели управления (рис. 19). В баке охладителя внутри змеевика 7 находится ванна хромирования. С целью компенсации разности температур используется расширительный бачок 15 (рис. 20). В процессе хромирования происходит нагрев электролита, который через стенки ванны передаёт теплоту в жидкость емкости теплообменного бака 9. В баке находится датчик включения жидкостного насоса 4, который включается с помощью реле насоса на панели управления установкой (рис. 19). Жидкостной насос имеет три скорости, поэто-

му можно регулировать скорость циркуляции в системе, с целью ускорения процесса теплообмена. Благодаря этому возможно осаждать гальванические покрытия при повышенных плотностях тока (до 200 А/дм²). Также в случае увеличения плотности тока и увеличения выделения тепла в гальванической ванне возникает необходимость ускорения скорости теплообмена, это возможно сделать, изменяя температуру циркуляционной жидкости в системе за счёт её снижения вплоть до температур ниже нуля.

На электрической схеме (рис. 21) показана компоновка соединений приборов на панели управления с основным оборудованием – компрессор холодильника КХ, насос циркуляционный (теплообменника) НТ и ТЭН нагревателя. Также на электрической схеме показаны датчики температуры ДТ1, ДТ2, ДТ3, которые соединены с реле регуляторами (РУ1, РУ2, РУ3) управления включения и отключения оборудования [79, 97].

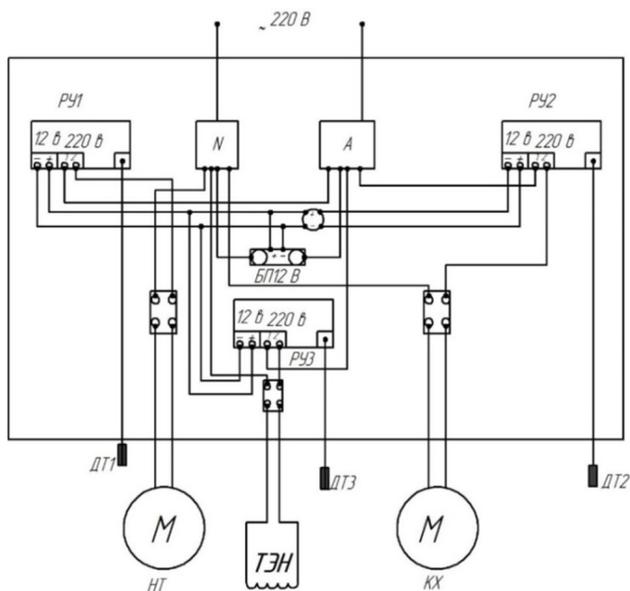


Рис. 21. Принципиальная электрическая схема установки для поддержания температуры электролита

Для поддержания более высоких рабочих температур электролита или в случае проведения исследований горячих электролитов, можно использовать нагрев с поддержанием необходимой высокой температуры электролита в диапазоне от 30 до 60 °С. Для этого также в цепь управления установкой (рис. 21) включается реле управление нагревательного ТЭНа, который совместно с охлаждением или отдельно сможет поддерживать необходимую высокую температуру (до 60 °С) в электролите. Принцип теплообмена и нагрева электролита обратный охлаждению: нагревательный ТЭН нагревает жидкость в баке до температуры $t_{ж} = 50...80$ °С.

При этом включается циркуляционный насос, который нагревшую жидкость через змеевик-теплообменник из бака, через трубопроводы циркулирует в змеевике теплообменнике гальванической ванны. В результате этого происходит нагрев электролита в ванне до необходимой температуры, выставленной реле регулировки циркуляционного насоса, который будет отключаться при достижении верхнего установленного в реле регуляторе диапазона температуры. Нагрев в аккумуляторной ёмкости b контролируется термореле регулятором, который отключает нагревательный ТЭН при достижении верхнего выставленного предела температуры. Бак изолируется термоизоляцией, что позволит дольше сохранять рабочую температуру в баке установки и уменьшить количество циклов включения компрессора и нагревательного ТЭНа и тем самым сохранить целостность оборудования и сэкономить электроэнергию на процесс поддержания рабочей температуры электролита.

Технология восстановления деталей хромированием разрабатывалась на основе наилучших результатов проведенных лабораторных исследований и производственного опыта их ремонта.

8. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА ХРОМИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ВЫСОКИМИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Для определения оптимального состава электролита хромирования в качестве базового был выбран ХСЭХ. Растворы готовили и анализировали по разработанной методике, использовали

необходимое оборудование, приборы и инструменты, которые изложены в предыдущей части работы.

В результате исследования базового электролита хромирования было получено, что с увеличением рабочей температуры электролита выше 23 °С и при катодной плотности тока 200 А/дм² и более будет происходить снижение выхода хрома по току от 40 до 25 %. При этом снижается качество осадка. Покрытия приобретают серый, тёмно-серый цвет, на поверхности увеличивается количество дендритов.

В процессе проведения исследований изменённого химического состава базового электролита хромирования, значительное влияние на производительность и качество хромовых покрытий оказывает изменение концентрации компонентов и режим формирования хромовых осадков. Получаемые зависимости режимов и состава соответствуют ХСЭХ [76, 121]. Кроме того, было выяснено, что значительное влияние на физико-механические свойства и производительность формирования покрытий оказывают неорганические добавки, благодаря которым возможно расширение диапазона рабочих температур.

Поэтому в результате опыта исследований других авторов были взяты за основу следующие добавки: сульфат никеля ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) и сульфат кобальта ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), а также плавиковая кислота (HF), которая обладает свойствами по расширению диапазона рабочих температур с получением качественных покрытий с высокой производительностью [78].

При проведении исследований сульфатов никеля и кобальта, которые оказывают влияние на качество осадков, было установлено, что максимальное значение микротвёрдости (до 11500 МПа) достигается при концентрации их до 10 г/л. (рис. 22).

Из рис. 22 видно, что дальнейшее увеличение концентрации сульфата никеля и кобальта (более 10 г/л) приводит к снижению выхода хрома по току и микротвёрдости, вследствие увеличения концентрации соотношения $\text{SO}_4^{2-}/\text{CrO}_3$. Это, вероятно, привело к увеличению толщины катодной, коллоидной плёнки на покрываемой поверхности. Из работ известно, что увеличение содержания посторонних анионов приводит к увеличению толщины катодной пленки и, в связи с этим, к уменьшению выхода хрома по току.

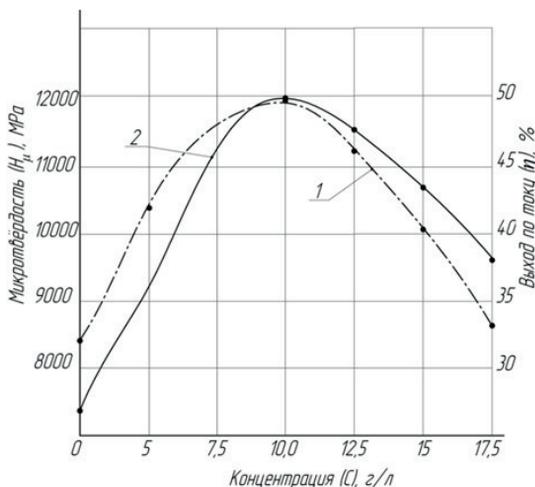


Рис. 22. Влияние количества сульфата никеля (1) и сульфата кобальта (2) на микротвердость хромового покрытия, осаждённого при составе электролита: $\text{CrO}_3 - 420$; $\text{CaCO}_3 - 50$ и $\text{HF} - 0,8$

Также были проведены исследования неорганической добавки плавиковой кислоты (HF) к базовому электролиту хромирования. В результате было установлено, что с увеличением концентрации плавиковой кислоты в диапазоне 0,65–0,9 г/л, при рабочей температуре электролита 18–35 °С, осаждаются качественные покрытия толщиной более 200 мкм, с микротвердостью осадков до 11500 МПа (рис. 23). При этом выход хрома по току достигает 47–50 %. При дальнейшем увеличении концентрации HF происходит незначительное уменьшение микротвёрдости покрытий, а также уменьшение выхода хрома по току (снижение производительности).

С увеличением концентрации плавиковой кислоты более 1,0 г/л качество получаемых хромовых осадков ухудшается, увеличивается количество сквозных трещин, а также снижается сцепление с поверхностью детали [48, 63, 72, 94, 98].

Как отмечалось выше, при всех достоинствах базового электролита его существенным недостатком является узкий интервал рабочих температур. Для этого были проведены исследования влияния рабочей температуры электролита хромирования на

выход по току, микротвёрдость и качество хромовых покрытий. Рабочую температуру электролита поддерживали неизменной по времени, в пределах от 10 до $40 \pm 0,5$ °С.

В результате исследований было установлено, что при изменении рабочей температуры разрабатываемого электролита в диапазоне $t_{эл} = 18...35$ °С при количестве HF в диапазоне 0,65–0,9 г/л микротвёрдость покрытий изменяется незначительно (рис. 24). С уменьшением количества плавиковой кислоты микротвёрдость начинает уменьшаться, при этом закономерности носят практически линейный характер. Максимальная микротвёрдость хромовых покрытий (до 11500 МПа) при выходе по току 48 % достигала при значении плотности тока 200 А/дм² [65].

Данные исследований позволили установить, что в разрабатываемом электролите хромирования при совместном присутствии посторонних анионов SO_4^{2-} и F^- создаются условия, обеспечивающие нанесение качественных хромовых покрытий при рабочей температуре электролита 18...35 °С при толщине покрытий более 200 мкм.

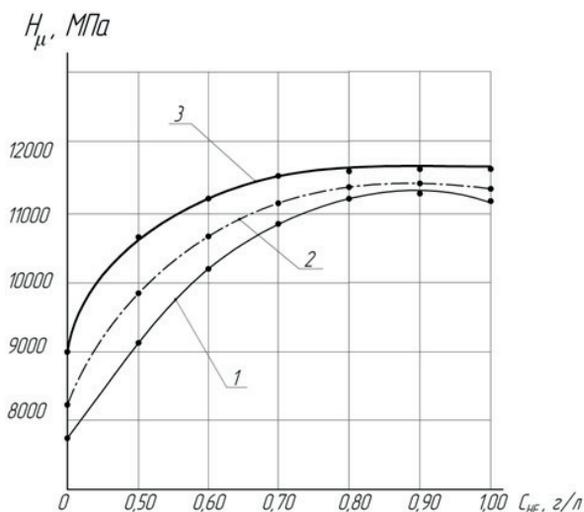


Рис. 23. Влияние концентрации плавиковой кислоты (C_{HF}) на микротвёрдость (H_{μ}) при рабочей температуре электролита 18–35 °С и плотности тока: 1 – 100 А/дм², 2 – 150 А/дм², 3 – 200 А/дм² (состав электролита: CrO_3 – 420 г/л; $CaCO_3$ – 50 г/л, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ – 10 г/л, $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ – 10 г/л)

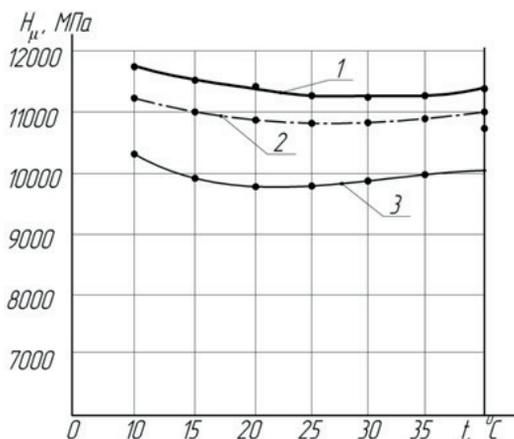


Рис. 24. Значение микротвёрдости хромовых покрытий в зависимости от рабочей температуры электролита при различной концентрации плавиковой кислоты г/л: 1 – 0,9; 2 – 0,7; 3 – 0,5, полученных при $D_k = 200 \text{ А/дм}^2$ (в электролите состава, г/л: $\text{CrO}_3 - 420$; $\text{CaCO}_3 - 50$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 10$, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 10$)

С целью обеспечения условий саморегулирования для разработанного электролита, для поддержания постоянной величины концентрации посторонних анионов (SO_4^{2-}) в электролите, было необходимо образование донной фазы труднорастворимых солей, в нашем случае сульфата кальция. Для этих целей в базовом электролите использовали углекислый кальций. В этой связи было исследовано, как влияет концентрация углекислого кальция на содержание ионов SO_4^{2-} в электролите и выход хрома по току.

Так, анализ влияния электролита ($\text{CrO}_3 - 400 \text{ г/л}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 10 \text{ г/л}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 10 \text{ г/л}$ и $\text{HF} - 0,7 \div 0,8 \text{ г/л}$) на содержание посторонних анионов показал, что при температуре электролита $30...35 \text{ }^\circ\text{C}$ с увеличением концентрации углекислого кальция (CaCO_3) от 0 до 80 г/л содержание SO_4^{2-} уменьшается от 4,8 до 1 г/л (рис. 25, кривая 1). При этом выход хрома по току остается практически одинаковым, достигая максимальных значений при концентрации CaCO_3 в количестве 30–70 г/л (рис. 25, кривая 2), который составляет 45...47 %, а экстремум (верхняя точка) соответствует концентрации SO_4^{2-} 3,4 г/л. Следует заметить, что при концентрации (CaCO_3) более 30 г/л на дне электролизёра проис-

ходит выделение, в виде осадка, донной фазы. Она содержит не только сульфат кальция CaSO_4 , но и его фторид CaF_2 . Этот факт доказывает то, что совместное присутствие фторидов и сульфатов повышает саморегуляцию электролита по отношению к его анионному составу, и будет автоматически поддерживать постоянным соотношение $\text{SO}_4^{2-}/\text{CrO}_3$ / [113, 119].

Это можно объяснить как явления гетерогенного равновесия, наблюдаемые в нашей системе. Для этого необходимо сравнить константы растворимости трех ограниченно растворимых соединений, присутствующих в нашем электролите одновременно – это карбонат кальция (его константа растворимости $K_s(\text{CaCO}_3) = 4,8 \cdot 10^{-9}$); сульфат кальция ($K_s(\text{CaSO}_4) = 6,1 \cdot 10^{-5}$) и фторид кальция ($K_s(\text{CaF}_2) = 4,1 \cdot 10^{-11}$). Поскольку растворимость сульфата кальция намного выше, чем растворимость карбоната и фторида, то именно эти компоненты и будут обеспечивать стабилизацию сульфат-аниона в растворе благодаря равновесиям [27]:

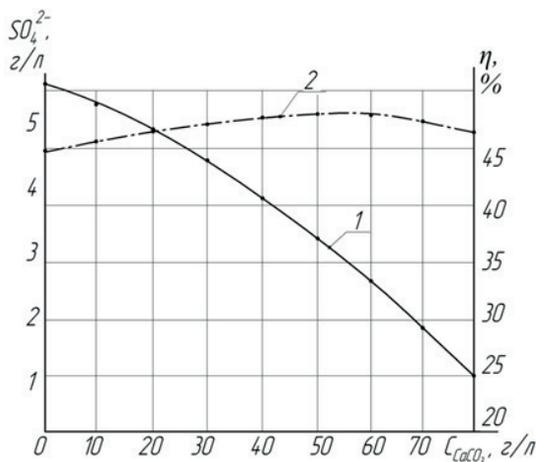
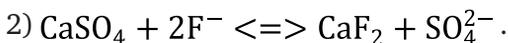
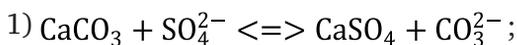
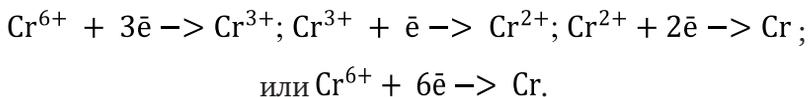


Рис. 25. 1 – влияние концентрации карбоната кальция на содержание в растворе сульфат-ионов (SO_4^{2-}); 2 – выход хрома по току (η) при $D_k = 100 \text{ А/дм}^2$ (в электролите состава, г/л: CrO_3 – 420; CaCO_3 – 50, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 и $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10г/л, HF – 0,7)

При увеличении концентрации CaCO_3 первое равновесие смещается в сторону формирования осадка сульфата кальция и выведения из раствора анионов, а увеличение концентрации плавиковой кислоты приводит к формированию осадка фторида кальция (равновесие 2) и высвобождению поглощенных анионов.

По мнению многих авторов, занимающихся исследованием механизмов процесса электровосстановления хрома (6+) из кислотных растворов, присутствие сульфат-аниона в них обеспечивает формирование более плотной катодной пленки на поверхности электрода, из которой, собственно, и происходит сложный многоступенчатый процесс последовательного восстановления хрома до состояния нейтральных атомов по схеме [27, 28]:



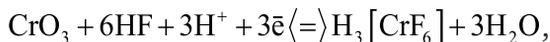
Причем сам сульфат-анион в процессе не участвует, а лишь связывает, возможно, катионы водорода в гидросульфат, препятствуя тем самым совместному с хромом образованию газообразного водорода.

Возможно, в исследованном электролите барьером на пути восстановления водорода является плавиковая кислота в большей степени, чем анион. Это обусловлено тем, что плавиковая кислота – электролит слабый, её константа диссоциации против константы диссоциации серной кислоты по второй ступени. Следовательно, связывание свободных катионов водорода в плавиковую кислоту значительно повысит поляризацию водорода на катоде, препятствуя его восстановлению. Поляризационные исследования зависимости потенциала катода от концентрации плавиковой кислоты в электролите подтвердили наши предположения (рис. 26).

Как следует из рисунка 26, при малых концентрациях HF в электролите (рис. 26, кривая 1) основной вклад в процесс восстановления водорода на малых плотностях тока вносит высокая кислотность раствора за счет серной кислоты. Однако по мере увеличения концентрации HF её влияние на процесс восстановления протонов меняется параллельно влиянию на процесс гетеро-

генного равновесия (рис. 26): сначала выход водорода снижается, а затем и полностью прекращается, открывая путь к процессу восстановления хрома. При этом, как следует из рис. 26, процесс электровосстановления хрома также стабилизируется и реализуется при более положительном потенциале, чем равновесный потенциал хрома в среде, близкой к нейтральной (-0,7 В).

Вполне вероятно, что в катодной пленке формируются комплексные кислоты неполного восстановления хрома типа



облегчающие дальнейшее восстановление хрома (3+) в хром (0) и возвращающие плавиковую кислоту в оборот электролита при его саморегулировании:

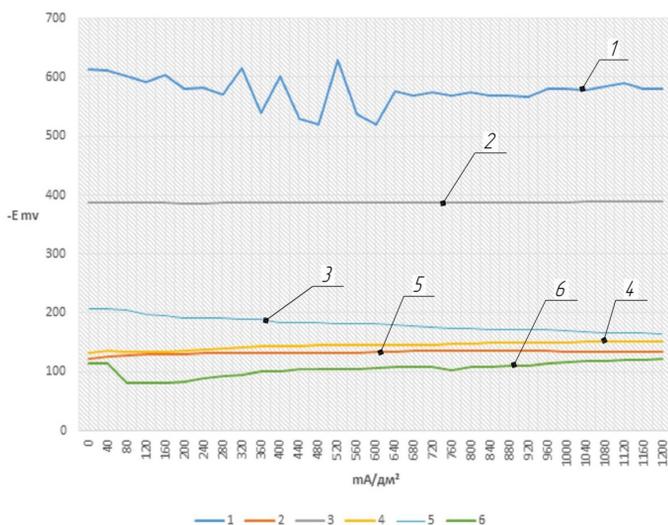
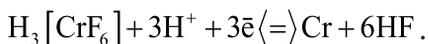


Рис. 26. Поляризационные кривые зависимости потенциала электрода от плотности тока в электролите хромирования (состав, г/л: хромовый ангидрид – 420, карбонат кальция – 50, сульфат никеля – 10, сульфат кобальта – 10, плавиковая кислота) при изменении концентрации плавиковой кислоты (г/л): кривая 1 – 0,45; кривая 2 – 0,55; кривая 3 – 0,65; кривая 4 – 0,70; кривая 5 – 0,80; кривая 6 – 1,05

Облегчение разряда вызвано, в том числе, и увеличением концентрации хрома (6+) в прикатодной пленке (исключается отталкивание одноименных зарядов, как при адсорбции пленкой анионов хромовой кислоты по уравнению $2\text{CrO}_3 + \text{H}_2\text{O} \langle = \rangle \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 2\text{H}^+$).

В результате проведенных исследований по оптимизации состава электролита хромирования было установлено, что наиболее оптимальный состав электролита следующий, г/л: CrO_3 – 420; CaCO_3 – 50, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 и $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10, HF – $0,65 \div 0,9$. При этом концентрация сульфата кобальта и сульфата никеля достаточна для необходимой концентрации постороннего аниона SO_4^{2-} , который обеспечивает необходимый стабильный процесс осаждения с необходимой скоростью. Обеспечение саморегуляции концентрации данного постороннего аниона осуществляется применением карбоната кальция в количестве $50 \div 60$ г/л, который образует при приготовлении раствора электролита донную фазу и обеспечивает саморегуляцию концентрации аниона SO_4^{2-} в необходимой пропорции. Кроме того, было установлено, что использование неорганической добавки плавиковой кислоты (HF) в количестве $0,65 \div 0,9$ г/л, дало возможность получать качественные покрытия, с высокой производительностью и физико-механическими свойствами при рабочих температурах в пределах $18\text{--}35$ °С.

В результате исследований нового состава электролита была проведена математическая обработка полученных данных с целью определения закономерности влияния различных условий электролиза и неорганической добавки плавиковой кислоты на один из важных критериев, определяющих качество хромового покрытия – микротвердость.

С целью определения достоверности исследований был проведен статистический анализ полученных результатов для выявления закономерностей и уравнения регрессии, описывающих влияние независимых факторов на микротвердость.

Экспериментальные исследования позволили установить, что наибольшее влияние на микротвердость хромовых осадков оказывают следующие факторы: плотность тока, количество плавиковой кислоты.

ковой кислоты, рабочая температура электролита (рис. 22–26). Поэтому были выбраны определяющие факторы, остальные были отсеяны как наименее значимые.

Для проведения полнофакторного эксперимента установили уровни варьирования перечисленных выше факторов (–1, 0, 1) с целью статистической обработки результатов исследований (табл. 4) [71, 72].

Для наиболее точной обработки данных был выбран факторный план эксперимента 3-1-27, где 3 – количество независимых факторов, 1 – зависимый фактор и 27 – количество обработанных данных, полученных среднеарифметическим вычислением микротвёрдости при проведении не менее трех опытов (см. прил. Б).

Таблица 4

Уровни изменения факторов

Независимые факторы Нижнее значение		Натуральное значение/ кодированное		
		Нижнее значение	Среднее значение	Верхнее значение
Катодная плотность тока, А/дм ²	X ₁	50/–1	125/0	200/1
Количество плавиковой кислоты, г/л	X ₂	0/–1	0,5/0	1,0/1
Рабочая температура электролита, °С	X ₃	18/–1	27/0	35/1

В результате статистической обработки данных была получена математическая модель, которая признана адекватной, что было подтверждено результатами анализа в программе «Statistika 13» (значения критериев Стьюдента и Фишера получались меньше табличных).

При обработке полученных результатов было установлено, что все 27 точек находятся в области факторного пространства, распределены симметрично относительно нуля, закон их распределения близок к нормальному. Поэтому влияние случайных и неслучайных ошибок на результат сведено к минимуму.

Для наглядного представления математической модели построены графики в трёхмерном пространстве координат. Графический материал поверхности по микротвёрдости был получен с помощью программы «Statistika 13» и приведен на рис. 27.

Таблица 5

Исходные данные для обработки результатов

№ опыта	Уровни варьирования факторов						Значения отклика: Микротвёрдость, 1000хМПа		
	Кодированные			Натуральные			Среднее из трех повторных измерений		
	X ₁	X ₂	X ₃	χ ₁	χ ₂	χ ₃	Y1	Y2	Y3
1	-1	-1	-1	50	0	18	6,8	7	7,2
2	-1	-1	0	50	0	27	6,6	6,5	6,4
3	-1	-1	1	50	0	35	7,0	6,8	6,6
4	-1	0	-1	50	0,5	18	9,4	9,5	9,6
5	-1	0	0	50	0,5	27	10,7	10,6	10,5
6	-1	0	1	50	0,5	35	10,7	10,8	10,9
7	-1	1	-1	50	1,0	18	11,1	11,2	11,3
8	-1	1	0	50	1,0	27	11,7	11,8	11,9
9	-1	1	1	50	1,0	35	10,6	10,5	10,4
10	0	-1	-1	125	0	18	7,4	7,5	7,6
11	0	-1	0	125	0	27	8,5	8,6	8,7
12	0	-1	1	125	0	35	9,6	9,5	9,4
13	0	0	-1	125	0,5	18	10,3	10,2	10,1
14	0	0	0	125	0,5	27	10,5	10,6	10,7
15	0	0	1	125	0,5	35	9,8	10	10,2
16	0	1	-1	125	1,0	18	11,3	11,5	11,7
17	0	1	0	125	1,0	27	11,1	11,2	11,3
18	0	1	1	125	1,0	35	11,5	11,4	11,3
19	1	-1	-1	200	0	18	8,9	8,8	8,7
20	1	-1	0	200	0	27	9,7	9,8	9,9
21	1	-1	1	200	0	35	8,6	8,5	8,4
22	1	0	-1	200	0,5	18	11,4	11,5	11,6
23	1	0	0	200	0,5	27	11,3	11,2	11,1
24	1	0	1	200	0,5	35	10,6	10,5	10,4
25	1	1	-1	200	1,0	18	10,9	10,8	10,7
26	1	1	0	200	1,0	27	11,4	11,5	11,6
27	1	1	1	200	1,0	35	11,7	11,8	11,9

Из дисперсного анализа (рис. 28) последние четыре столбца включают значения коэффициентов линейного уравнения регрессии при варьировании уровней значений факторов. Таким образом, мы можем использовать данные величины для предсказания значений переменной Y (микротвёрдость), при этом искомое уравнение регрессии примет вид:

$$Y = 9,985 + 0,54X_1 + 1,59X_2 - 0,48X_3 - 0,52X_1X_2 + 0,04X_1X_3 + 0,10X_2X_3 + 0,05X_1^2 + 1,59X_2^2 - 0,48X_3^2, \quad (7)$$

где Y обозначает предсказываемый выход (микротвёрдость); X₁, X₂, X₃ – перекодированные независимые факторы (-1, 0, +1).

Фактор	Оценки эффектов: R-кв = 95101, Скор. 92507 (Таблица) 3-х уровневые ф, 1 Блок; Остаточн. SS= 1901253 ЭП Микротвердость, 1000*МПа									
	Эффект	Ст. Ош.	t(T)	p	-95 % Дов Пред	+95 % Дов Пред	Коэф.	Ст. Ош. Коэф.	-95 % Дов Пред	+95 % Дов Пред
Сред/Св.член	9,98519	0,083915	118,9921	0,000000	9,80614	10,16223	9,985185	0,083915	9,808141	10,16223
(1) Плотность тока, А/дм ² (L)	1,07778	0,205548	5,2434	0,000066	0,64411	1,51145	0,538889	0,102774	0,322054	0,75572
Плотность тока, А/дм ² (K)	0,10556	0,178010	0,5930	0,561004	-0,27001	0,48112	0,052778	0,089005	-0,135006	0,24056
(2) Количество плавиковой кислоты, г/л(L)	3,18889	0,205548	15,5141	0,000000	2,75522	3,62256	1,594444	0,102774	1,377610	1,81128
Количество плавиковой кислоты, г/л(K)	0,83889	0,178010	4,7126	0,000201	0,46332	1,21446	0,419444	0,089005	0,231660	0,60723
(3) Температура электролита, С(L)	-0,95556	0,205548	-4,6489	0,000230	-1,38922	-0,52189	-0,477778	0,102774	-0,694612	-0,26094
Температура электролита, С(K)	-0,04444	0,178010	-0,2497	0,805831	-0,42001	0,33112	-0,022222	0,089005	-0,210006	0,16556
1L на 2L	-1,03333	0,251744	-4,1047	0,000739	-1,56447	-0,50220	-0,516667	0,125872	-0,782233	-0,25110
1L на 3L	0,08333	0,251744	0,3310	0,744672	-0,44780	0,61447	0,041667	0,125872	-0,223900	0,30723
2L на 3L	0,20000	0,251744	0,7945	0,437880	-0,33113	0,73113	0,100000	0,125872	-0,165567	0,36557

Рис. 28. Дисперсный анализ математической линейной модели



Рис. 29. Результаты оптимизации состава электролита хромирования и режимов осаждения

Полученные уравнения регрессии, даёт возможность предсказать значение микротвердости получаемого хромового покрытия, при изменении независимых факторов – плотность тока, количество плавиковой кислоты и рабочая температура электролита. Результаты по оптимизации показаны на рисунке 29.

В результате проведённого анализа удалось определить оптимальный состав электролита хромирования и режимы получения хромовых покрытий, с высокой производительностью и физико-механическими свойствами.

9. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Как отмечалось выше, был определён оптимальный состав добавок, при которых возможно получить высокопроизводительные

ный электролит хромирования. Поэтому нами были проведены исследования по оптимизации режимов осаждения хромовых покрытий с целью получения качественных покрытий с высокой производительностью.

Для этого, в первую очередь, необходимо было определить влияние температуры разрабатываемого электролита на выход по току хромовых покрытий с возможностью максимального расширения. Для данных исследований использовали методику и оборудование, описанные в подпункте 7.

Полученные данные исследований позволили установить, что в разрабатываемом электролите хромирования при совместном присутствии посторонних анионов SO_4^{2-} и F^- создаются условия, обеспечивающие нанесение качественных хромовых покрытий при рабочей температуре электролита 18–35 °С.

Для определения оптимальных режимов осаждения были выполнены исследования влияния катодной плотности тока ($D_{\text{к}}$) на выход по току (η), микротвёрдость получаемых хромовых покрытий (H_{μ}) и скорость осаждения (h), при этом рабочая температура электролита была в предельно максимальных значениях 30–35 °С.

Результаты получились следующие: выход хрома по току наблюдался с незначительными колебаниями (в среднем $48,5 \pm 1$ %), при микротвёрдости осадков в зависимости от плотности тока 8500 ÷ 11500 МПа (рис. 30 кривая 1 и 2), скорость осаждения хрома изменялась от 100 до 400 мкм/час (рис. 30 кривая 3). Важно заметить, что при этих условиях электролиза значения выхода по току и микротвёрдости существенно не изменяются. Эти данные позволяют предположить, что разработанный электролит обладает высокой кроющей и рассеивающей способностью. Это открывает перспективы его применения для размерного хромирования, как в гальваностегии, так и в гальванопластике [40, 47, 78].

Проведёнными исследованиями также было установлено, что при электролизе на постоянном токе из разрабатываемого электролита в широком диапазоне катодной плотности тока $D_{\text{к}} = 75 \dots 200 \text{ А/дм}^2$ наблюдается не только сохранение высокого выхода хрома по току до 49 %, но и повышение микротвёрдости до 11500 МПа при более высоких рабочих температурах (рис. 31),

чем у базового электролита. Так, при температуре 30–35 °С наблюдаются постоянные значения выхода хрома по току ($48,5 \pm 1$ %), а микротвердость осадков составляет 8500...11500 МПа. При этом скорость осаждения хрома в зависимости от D_k изменяется в пределах от 100 до 400 мкм/час.

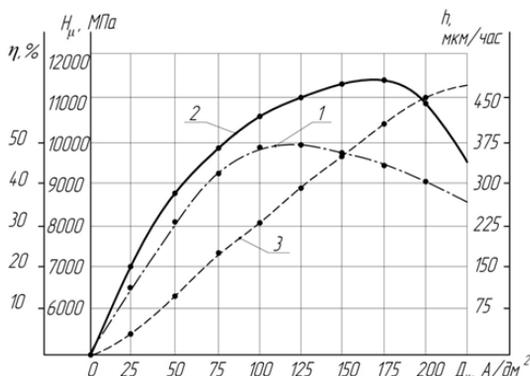


Рис. 30. Влияние значений катодной плотности постоянного тока на выход хрома по току – 1, микротвердость покрытий – 2 и скорость их осаждения – 3, при температуре 30–35 °С (осаждённого следующего состава электролита: CrO_3 – 420; CaCO_3 – 50, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 и HF – 0,8)

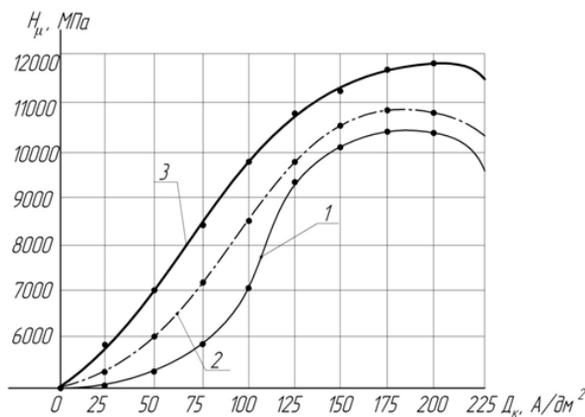


Рис. 31. Влияние катодной плотности постоянного тока на микротвердость покрытий при температуре 35°С для электролитов: 1 – базовый, 2 – с добавкой $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 г/л и HF – 0,8 г/л, 3 – $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 г/л, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 г/л и HF – 0,8

В результате исследований морфологии хромовых покрытий было получено, что при электролизе из нового разработанного электролита формируются различные поверхности: трещиноватые и бестрещиноватые, с дендритами и без них, серые, светло-серые, темно-серые, светло-серые с молочным оттенком покрытия. Так, на морфологию покрытий, получаемых из разработанного электролита, наиболее значимое влияние оказывает катодная плотность тока и рабочая температура электролита [60, 61, 72, 76, 78].

Результаты исследований хромовых осадков хрома, с помощью разработанного электролита, при анализе электрокристаллизации получаемых осадков показали зависимость качества хромовых осадков от режимов осаждения хрома (рис. 32).

Из рис. 32 видно, что при увеличении катодной плотности тока образуются более мелкозернистые по структуре покрытия с образованием на поверхности большого количества «микросфероидов (глобул)». Так, при уменьшении катодной плотности тока ниже 100 А/дм^2 при рабочей температуре электролита $18\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$ количество глобул на единицу площади поверхности уменьшается, их размеры увеличиваются, а трещиноватость уменьшается (рис. 32, а, б). При повышении рабочей температуры больше $38\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$ плотность глобул, как при плотности тока больше 200 А/дм^2 , растет, количество микротрещин увеличивается, при этом по краям покрываемого образца количество дендритов растет (рис. 32, в, г).

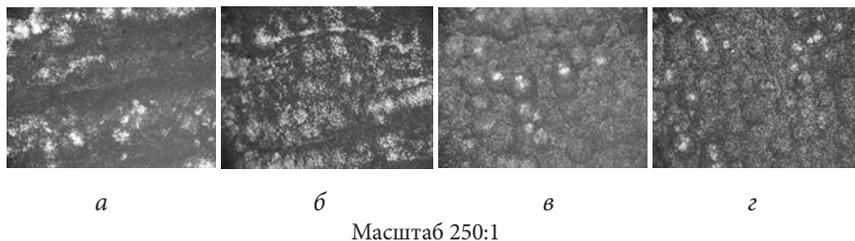


Рис. 32. Микроструктура осадков хрома из исследуемого электролита в зависимости от значений различной катодной плотности тока: а – 75 А/дм^2 ; б – 150 А/дм^2 ; в – 200 А/дм^2 ; г – 250 А/дм^2

Также был проведён металлографический анализ получаемых хромовых покрытий по толщине (шлифов) из электролита хромирования без добавки плавиковой кислоты и температуры электролита более 23 °С, в котором было установлено, что с увеличением катодной плотности тока толщина качественного слоя осадка будет снижаться (рис. 33, а, б). При этом по краям образцов появляются образования порошкообразного осадка (при $D_k = 150 \text{ А/дм}^2$), затем они распространяются по всей поверхности покрытия. Дефектообразование начинается при низких $D_k = 60 \text{ А/дм}^2$ и в пределах катодной плотности тока от 75 до 150 А/дм^2 наблюдается более густая сетка трещин с меньшей их глубиной.

При хромировании предлагаемым способом с добавкой плавиковой кислоты, в диапазоне плотности тока 75–200 А/дм^2 , которому присуща незначительная трещиноватость (рис. 33, в, г), трещины в поперечном слое, которые наблюдаются по всему поперечному сечению хромового покрытия – микроскопические, ориентированы в радиальном направлении. Они появляются с ростом толщины осадка, затем перекрываются новыми слоями хрома и «залечиваются». По итогам результатов исследований можно заключить, что для получения качественных хромовых покрытий из разработанного электролита оптимальную плотность тока должна быть в диапазоне 75–200 А/дм^2 [47].

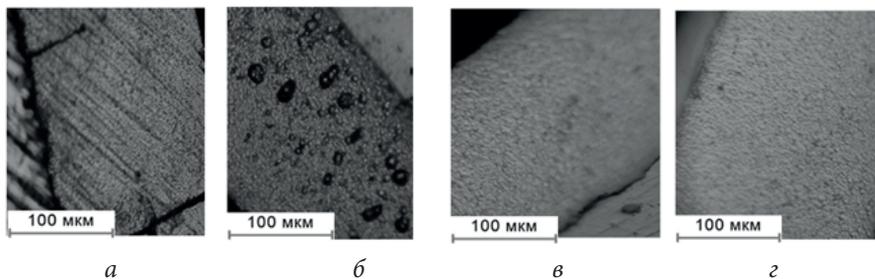


Рис. 33. Микрошлифы хромированных образцов: а – без добавки HF, плотность тока 75 А/дм^2 толщина осадка 150 мкм; б – без добавки HF, плотность тока 100 А/дм^2 толщина осадка 180 мкм; в – с добавкой HF, плотность тока 75 А/дм^2 толщина осадка 220 мкм; г – с добавкой HF, плотность тока 100 А/дм^2 толщина осадка 250 мкм

10. ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВАННЫ С ХОЛОДНЫМ САМОРЕГУЛИРУЮЩИМСЯ ЭЛЕКТРОЛИТОМ ХРОМИРОВАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Процесс электролитического хромирования имеет ряд особенностей, отличающих его от других гальванических процессов.

Для правильной работы разработанного электролита хромирования, а также для получения необходимого качества покрытия с заявленной производительностью и рассеивающей способностью требуется его постоянный анализ и корректировка.

Плохая рассеивающая способность хромового электролита, наряду с низким выходом по току и небольшой величиной электрохимического эквивалента хрома, приводит к тому, что глубокие участки рельефных изделий часто вовсе не покрываются хромом. Кроме того, в результате местной концентрации силовых линий, на торцах изделия, подвергающегося хромированию, обычно образуются наросты хрома (диндриты). При хромировании внутренней поверхности цилиндров и наружной поверхности валов, при неправильном положении катодов относительно хромируемой поверхности, может образоваться покрытие различной толщины, устранение которого может быть затруднительно [104].

Известно, что при использовании универсального электролита хромирования для нормальной работы хромового электролита, кроме содержания в нем хромового ангидрида – шестивалентного хрома (CrO_3) и серной кислоты (H_2SO_4), необходимо также содержание небольшого количества трехвалентного хрома (Cr^{3+}). Последний при составлении электролита не вводится, учитывая, что он быстро накапливается в процессе работы ванны в результате восстановления шестивалентного хрома на катоде. Поэтому хромовый электролит после приготовления требует проработки током для накопления ионов трехвалентного хрома. Для проработки электролит нагревается до $t = 45\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$, на катодную штангу завешивается максимальное количество плоских свинцовых

анодов, а на анодную штангу в 3–4 раза меньше (по площади). После этого включают ток при напряжении $U = 6–8$ вольт. При этом катодная плотность тока в несколько раз меньше анодной (из-за отношения анодной и катодной поверхностью). Процесс восстановления на катоде идет интенсивнее процесса окисления на аноде, так как при повышенной плотности тока на аноде имеет место, главным образом, газообразное выделение кислорода и только в незначительной степени идет процесс обратного окисления образовавшегося на катоде трехвалентного хрома.

Процесс проработки нормально продолжается 5–6 часов, после чего аналитически проверяют содержание в электролите трехвалентного хрома (Cr_2O_3), которое должно быть в пределах 1–2 % от хромового ангидрида. При получении удовлетворительных результатов анализа производят пробное хромирование. Переходить к рабочему хромированию можно только после того, как будут получены светлые блестящие осадки. Внешне конец проработки ванны током определяется по интенсивному и равномерному выделению пузырьков газа на аноде [42, 49, 59, 71, 72].

Однако неравномерное выделение газа толчками, сопровождаемое колебаниями стрелки амперметра и уменьшением силы тока, при одновременном увеличении напряжения по вольтметру, свидетельствует об избытке в электролите Cr^{3+} [42, 49, 59, 71, 72].

Поэтому для поддержания долговечности и стабильности работы ванны хромирования возникает необходимость определения закономерности накопления Cr^{3+} и влияние его на процесс электролиза в целом.

При использовании холодного саморегулирующегося электролита хромирования возникает одна из проблем, которая значительно влияет на рассеивающую способность электролита и тем самым на производительность и качество покрытий. Необходимо рассмотреть, какое влияние оказывает Cr^{3+} при различных его концентрациях (г/л) на рассеивающую способность исследуемого электролита.

Для дальнейшего использования электролита была необходимость, чтобы он стабилизировался до 8 часов для нормализации его температуры и выпадения в осадок сульфата кальция (образование донной фазы). Затем в течение 6–10 часов была необходимость проработки электролита, с целью образования необходимого количества трёхвалентного хрома, в количестве не менее 2–15 г/л для обеспечения устойчивой работы электролита.

Применяемое оборудование, приборы и инструменты описаны в подпункте 7.

Содержание Cr (III) определяли по разности между количеством общего хрома и шестивалентного:

$$C_{Cr(III)} = C_{Cr(общ)} - C_{Cr(VI)}, \text{ г/л.} \quad (8)$$

$C_{Cr(общ)}$ – общее количество хрома, г/л; $C_{Cr(VI)}$ – количество шестивалентного хрома, г/л.

Наклон общей прямой отражает интенсивность накопления Cr^{3+} (J), которую можно выразить отношением:

$$J = \frac{C}{Q}, \quad (9)$$

где C – концентрация Cr^{3+} в электролите, г/л; Q – количество электричества, прошедшего через раствор, А·ч.

$$Q = I \cdot t, \quad (10)$$

где I – сила тока, А; t – время электролиза, ч;

Применительно к гальваническим процессам:

$$I = D_k \sum_{i=1}^n S_k, \quad (11)$$

где D_k – катодная плотность тока, А/дм²; $\sum_{i=1}^n S_k$ – суммарная площадь катода, дм².

Подставляя значения (11) в выражение (10), получаем:

$$Q = D_k \sum_{i=1}^n S_k \cdot t \quad (12)$$

Окончательное выражение интенсивности накопления трёхвалентного хрома в электролите при исследуемом отношении его объема (л) к площади катода (дм²):

$$\frac{V_{\text{в}}}{S_{\text{к}}} = \frac{8}{0.1} = 80$$

Формулу для расчета рабочего времени исследуемой ванны до накопления предельной концентрации Cr³⁺ в электролите C_{max} можно представить из выражения (12):

$$t = \frac{C_{\text{max}}}{D_{\text{к}} \cdot S_{\text{к}} \cdot J}, \quad (13)$$

где C_{max} – максимально возможная концентрация трёхвалентного хрома для проведения стабильного электролиза, г/л; $S_{\text{к}}$ – площадь катода (покрываемой поверхности детали), дм².

Для расчета рабочего времени производственной ванны с известным отношением n необходимо учитывать кратность (K) единичного объема раствора в общем объёме (V) всей ванны:

$$K = \frac{V}{V_{\text{е}}} \quad (14)$$

Общая формула для определения времени работы ванны хромирования в холодном саморегулирующемся электролите до накопления предельной концентрации Cr³⁺ в растворе имеет вид:

$$T = \frac{C_{\text{max}} \cdot V}{D_{\text{к}} \cdot \sum_{i=1}^n S_{\text{к}} \cdot J_{\text{н}} \cdot V_{\text{е}}}, \text{ ч.} \quad (15)$$

Выполненный анализ литературных источников и научных работ по исследованию холодных саморегулирующиеся электролитов хромирования показал, что отношение площади анода к площади катода ($S_{\text{а}}/S_{\text{к}}$) 1,5 ÷ 2 не обеспечивает стабильную работу ванны хромирования. С увеличением концентрации Cr³⁺ более 9 г/л приводит к уменьшению производительности и ухудшению качества покрытий. Поэтому дальнейшее проведение исследований требует уточнения всех параметров и процессов во время осаждения хромовых покрытий [37, 47, 49].

В работе были проведены исследования интенсивности накопления Cr^{3+} в зависимости количества прошедшего электричества (Q) через раствор электролита. Также были изучены влияния концентрации Cr^{3+} на микротвёрдость и производительность получения хромовых покрытий.

Полученные результаты исследований установили (рис. 34), что с увеличением количества электричества, прошедшего через раствор (Q), рост концентрации Cr^{3+} прямо пропорционален плотности тока, и закономерность носит линейный характер.

Проведенные исследования влияния соотношения S_a/S_k на стабильность накопления Cr^{3+} (рис. 35) получили, что значения соотношения меньше 1, приводит к интенсивному накоплению Cr^{3+} , что приводит к потере работоспособности ванны хромирования и требуется стабилизация состава для проведения дальнейшей работы. Поэтому, для стабильной работы ванны хромирования необходимо, чтобы соотношение S_a/S_k было больше 1, при котором более стабильно будет происходить накопление Cr^{3+} . При соотношении $S_a/S_k = 3-4$ происходит более стабильная работа ванны хромирования с оптимальным содержанием Cr^{3+} . Так, из рис. 35, кривая 1 видно влияние концентрации Cr^{3+} на выход по току, при увеличении концентрации, которого более 15 г/л, начинает значение снижаться снижение его [49]. При анализе результатов исследований (рис. 35) по влиянию концентрации Cr^{3+} было выявлено, что концентрация имеет влияние на выход по току (производительность) и микротвёрдость получаемых хромовых покрытий. Так, при содержании Cr^{3+} в пределах 2–15 г/л наблюдались стабильные значения выхода по току и микротвёрдости. При увеличении более 15 г/л происходило падение значений выхода по току и микротвёрдости, с постепенным ухудшением качества покрытий. При концентрации Cr^{3+} более 20 г/л происходило резкое падение выхода по току, при этом качество покрытий также ухудшалось, появлялись микротрещины и внутренние поры. Поэтому на основании данных исследований можно заключить, что концентрация Cr^{3+} более 15 г/л является недопустимой при восстановлении деталей автомобилей, работающих при гидробразивном изнашивании.

Из рис. 36 видно, что кривая 1 при отношении объёма электролита к площади покрываемой детали 80 увеличивает работоспособность ванны хромирования, при этом снижение данного значения до 50, ограничивающее время стабильной работы ванны хромирования, может осуществляться при значениях катодной плотности тока 75–200 А/дм².

В результате исследований было установлено, что при повышенном содержании трехвалентного хрома увеличивается сопротивление электролита и падает плотность тока. В результате суживается интервал плотностей тока, при котором получают осадки с необходимой толщиной, качеством и производительностью.

В случае увеличения предельной концентрации Cr^{3+} , необходимо провести проработку ванны хромирования, которую осуществляют при соотношении отношения площади анода к площади катода более 5 ÷ 10.

Для оценки качества покрытий были проведены исследования микрошлифов, получаемых хромовых покрытий при различном содержании Cr^{3+} , которые показаны на рис. 37.

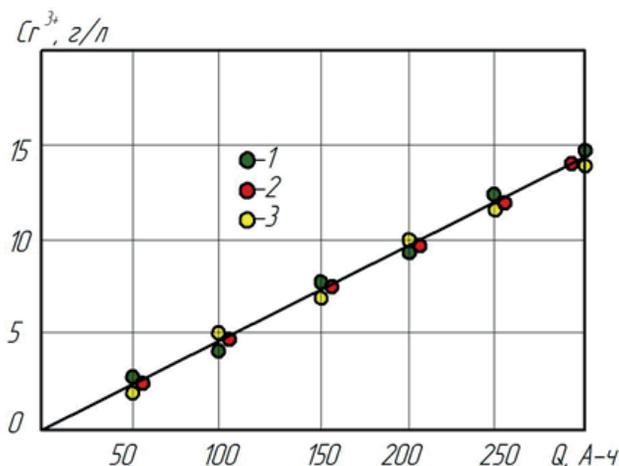


Рис. 34. Концентрация трехвалентного хрома в зависимости от Q при S_a/S_k :
1 – 2/1; 2 – 4/1; 3 – 8/1

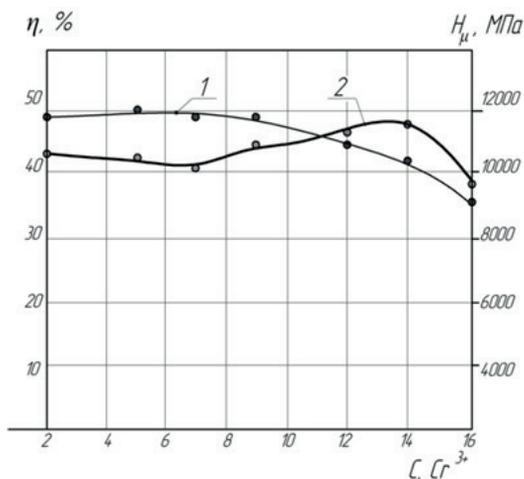


Рис. 35. Концентрация (г/л) Cr^{3+} в растворе электролита хромирования, влияющая на выход металлического хрома по току (η) – 1 и микротвердость покрытий (H_{μ}) – 2

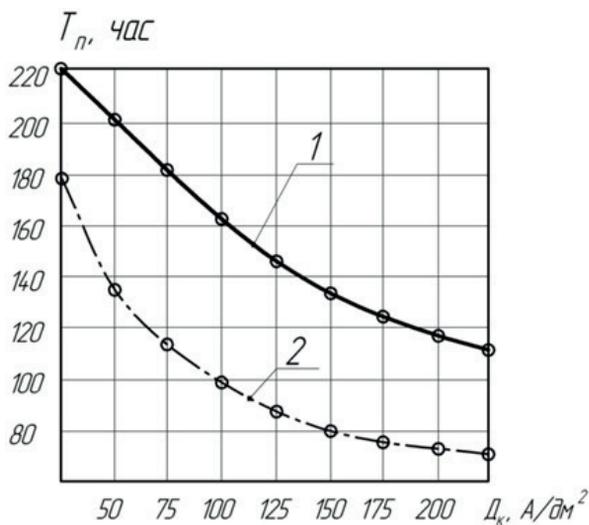


Рис. 36. Время предельного накопления Cr^{3+} , в зависимости от катодной плотности тока при различной покрываемой площади детали при значениях отношения объёма ванны хромирования к площади катода (λ , л/дм²): 1 – 80, 2 – 50

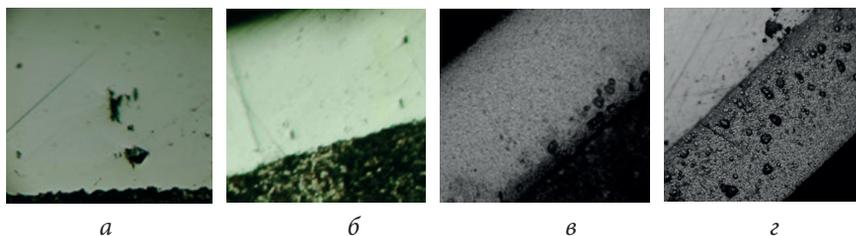


Рис. 37. Микрошлифы хромовых покрытий, полученных: при количестве трёхвалентного хрома $C_{Cr^{3+}}$, г/л: а – 2–9, б – 9–15, в – 15–20, з – более 20 г/л

Из рис. 37 видно влияние концентрации $C_{Cr^{3+}}$ на качество покрытий: при увеличении концентрации более 15 г/л, качество покрытий падает. Так, при увеличении концентрации Cr^{3+} более 15 г/л, появляются микротрещины на поверхности, снижается выход по току, а при концентрации более 20 г/л появляются сквозные трещины, которые снижают коррозионную стойкость и контактную прочность, делая нецелесообразным использование данных покрытий при восстановлении деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

11. ИССЛЕДОВАНИЯ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ

Результаты исследований показали, что прочность сцепления хромового покрытия из нового состава позволяет получать хромовые покрытия с прочностью сцепления в пределах 220–270 МПа. При этом поверхность оставалась стабильной, с небольшой деформацией, не влияющей на качество покрытия (рис. 38, б). Дальнейшее увеличение нагрузки на поверхность приводит к постепенному разрушению поверхности, а нагрузка более 300 МПа – к скалыванию и отслаиванию (рис. 38, в).

Исследование микроструктуры хромовых покрытий при испытании прочности сцепления показало, что многократная запрессовка-выпрессовка приводит к появлению небольшого количества рисок и царапин, износ по диаметру практически отсутствовал. При этом на качество покрытия все полученные меха-

нические воздействия не влияли. На рис. 39 показано изменение микроструктуры поверхности при 3, 6, 9, 12 количества циклов, при этом разрушение поверхности и скалывание не наблюдались (рис. 39). Данные результаты дали предположение, что хромовые покрытия, получаемые из нового электролита, обладают высокой износостойкостью. Дальнейшие исследования подтвердили эти предположения [46, 123].

Изучение микроструктуры при испытании на прочность сцепления показало, что хромовые покрытия удовлетворительны для деталей автомобилей и дорожно-строительных машин, работающих при гидроабразивном изнашивании. Примером таких деталей являются золотники гидрораспределителей, плунжеры масляных и топливных насосов.

Проведенные исследования нового состава электролита показали, что увеличение количества плавиковой кислоты в растворе более 1 г/л раствора приводит к снижению прочности сцепления.

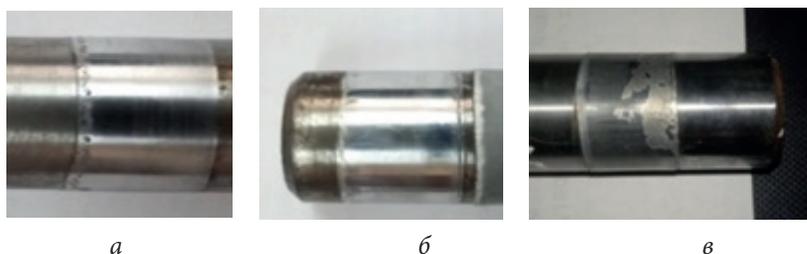


Рис. 38. Вид испытываемого образца-вала в зависимости от нагрузки: а – при нагрузке 0 МПа; б – при нагрузке до 270 МПа; в – при нагрузке 300 МПа

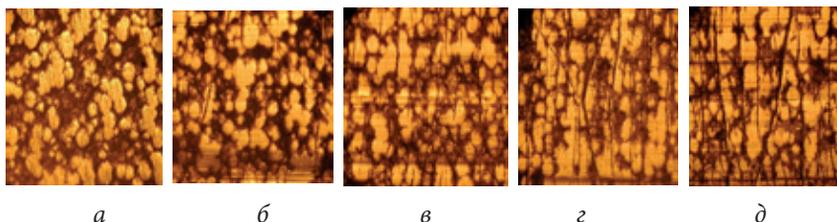


Рис. 39. Вид микроструктуры поверхности образца-вала, покрытого хромом: а – до испытания, б – после 3 циклов, в – после 6 циклов, г – после 9 циклов, д – после 12 циклов

Испытания на прочность сцепления таких хромовых поверхностей характеризовались появлением трещин и глубоких царапин, а также разрушением поверхности, что исключает их применение для деталей, работающих при гидробразивном изнашивании.

Это говорит о нецелесообразности дальнейшего увеличения концентрации плавиковой кислоты.

В результате были сделаны предварительные выводы, что для достижения высокой прочности сцепления и износостойкости необходимо, чтобы концентрация плавиковой кислоты была в пределах 0,65–0,9 г/л.

Дальнейшие исследования износостойкости хромовых покрытий из нового электролита показали, что в начале работы пары трения колодка-ролик происходит их приработка. Приработка является важным этапом для формирования качественной поверхности, от режимов которой напрямую зависят дальнейшие исследования износостойкости при нагрузке. В результате приработки происходит формирование новой микроструктуры и рельефа поверхности, от которых зависит дальнейшая работа пары трения и её износостойкость (рис. 40) [46, 74].

Анализ результатов исследований процесса приработки пары трения колодка-ролик показал, что наиболее оптимальная нагрузка 10–15 кг/см². Исследования микроструктуры приработанных покрытий при данных нагрузках показали, что повреждения не наблюдались, происходило выравнивание неровностей поверхностей при достижении шероховатости в пределах 0,04–0,16 мкм. В результате этого происходит снижение и стабилизация температуры места контакта, а также стабилизация и снижение коэффициента трения (рис. 40).

Дальнейшее увеличение нагрузки приработки до 20 кг/см² приводит к зависимости вида и качества покрытия от условий приработки хромового покрытия (рис. 40, б). Испытания хромовых покрытий без добавки плавиковой кислоты приводят к снижению стабильности температуры и коэффициента трения (рис. 40, б, кривая 3), также в некоторых случаях есть вероятность повреждения поверхности (рис. 41, в).

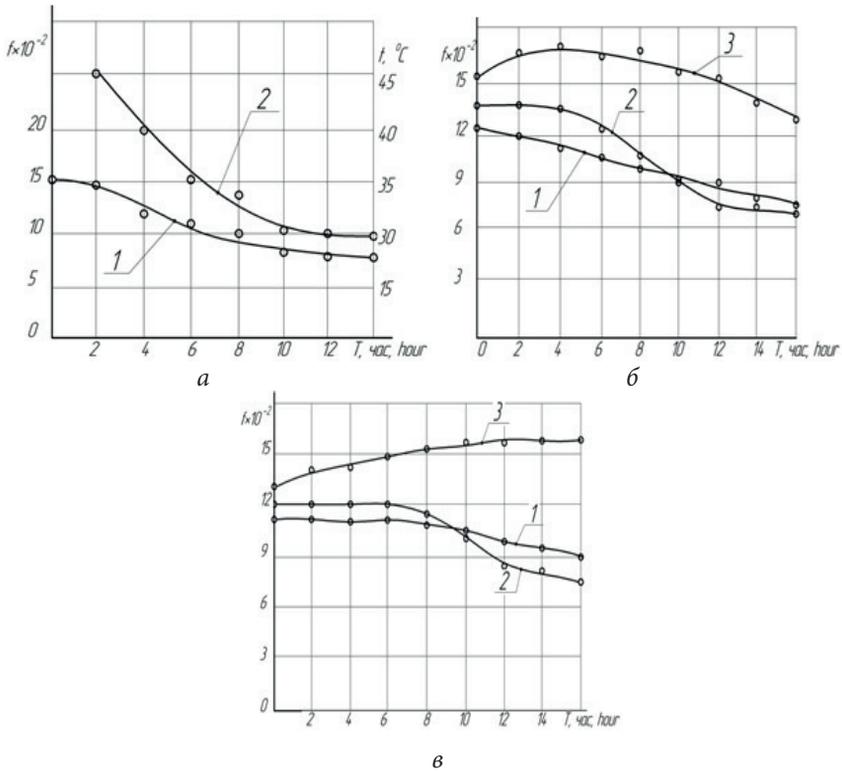


Рис. 40. Значение коэффициента трения ($f \times 10^{-2}$) от времени приработки (T) в зависимости от нагрузки: а – при 15 кг/см²; б – при 20 кг/см²; в – при 25 кг/см²: 1 – с добавкой плавиковой кислоты, 2 – универсальный электролит; 3 – без добавки HF

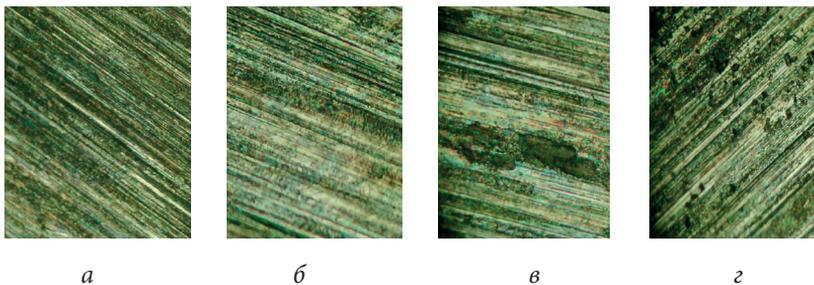


Рис. 41. Микроструктура поверхности хромированных роликов-образцов в зависимости нагрузки, кг/см²: а – 10, б – 15, в – 20, г – 25

При исследованиях хромовых осадков, получаемых из нового электролита хромирования (рис. 40, б, кривая 1) и у универсального электролита (рис. 40, б, кривая 2), нагрузка приработки 20 кг/см² не приводила к ухудшению качества покрытий, коэффициент трения и температура изначально незначительно росли, а потом параметры приработки стабилизировались. Однако время приработки превышало время нагрузки 10–15 кг/см² [46].

Дальнейшее увеличение нагрузки до 25 кг/см² у хромированных поверхностей с добавкой плавиковой кислоты (рис. 6, в, кривая 1) приводило к незначительным повреждениям (рис. 41, г). Для хромовых покрытий, получаемых без добавки плавиковой кислоты приводило к значительным повреждениям и переходило к паталогическому изнашиванию (рис. 40, в, кривая 3). Хромовые покрытия, полученные из универсального электролита, по-прежнему оказались без повреждений (рис. 40, в, кривая 2). Дальнейшее увеличение нагрузки до 30 кг/см² и более приводило к повреждениям всех поверхностей, что исключало дальнейшее использование и исследование.

По окончании приработки пары трения производили постепенное ступенчатое повышение нагрузки до предельно допустимого значения. При анализе процесса приработки было установлено, что наиболее оптимальный процесс приработки происходит при нагрузке 10–15 кг/см², дальнейшее увеличение нагрузки приработки до 20 кг/см² приводило к снижению износостойкости, при снижении верхнего предела допустимой нагрузки испытаний (табл. 6) [46, 128].

Исследования приработки хромовых покрытий, полученных из нового электролита с добавлением плавиковой кислоты, показали, что повышение нагрузки до 20 кг/см² значение коэффициента трения стабильное и постепенно начинает со временем снижаться (рис. 40, в). Приработка при соблюдении данных параметров нагрузок приводила к наименьшей интенсивности изнашивания как образца-ролика, так и колодки. Приработка является подготовительным этапом для установившегося изнашивания, поэтому ее нужно проводить с наибольшей интенсивностью с ограничениями по паталогическим процессам, с одной стороны, но, с другой стороны, она должна привести к минимально воз-

можной интенсивности изнашивания при нормальной последующей эксплуатации.

Испытания после приработки под нагрузкой в пределах 50–125 кг/см² показали, что коэффициент трения наименьший, это даёт сделать выводы, что хромовые покрытия обладают высокими антифрикционными свойствами (рис. 42). Также исследования влияния катодной плотности в пределах 75–200 А/дм² показали, что изнашивание находится в стабильном состоянии (рис. 42, а). Дальнейшее увеличение катодной плотности приводит к постепенному снижению износостойкости.

Для наглядного сравнения процесса испытания на износостойкость различных хромовых покрытий, в том числе из нового электролита с добавлением плавиковой кислоты, данные представлены в табл. 6.

Таблица 6

Средние значения параметров испытаний на износостойкость

Вид покрытия	Нагрузка приработ-ки, F , кг/см ²	Значения параметров испытаний			
		$F_{исп}$, кг/см ²	Интенсивность изнашивания, i мг/час	Ср. коэф. трения, f	Рабочая ср. темпра, T , °C
С добавкой плавиковой кислоты	15	100	0,0075	0,0278	55
Без добавки плавиковой кислоты	15	100	0,0110	0,0325	60
Из универсального электролита	30	100	0,0092	0,0290	55

Продолжительные испытания интенсивности изнашивания хромовых покрытий, полученных из нового электролита хромирования, по сравнению с универсальным электролитом, показали, что износостойкость хромовых покрытий из нового электролита на 20–30 % выше, чем универсального, а по сравне-

нию с эталонной парой трения на 30–40 % (рис. 42, б). Также из рис. 42, б видно, что износостойкость колодки в паре трения с образцом-роликом, покрытым хромом из нового электролита, немного уступает при паре с образцом-роликом, покрытым в универсальном электролите. В процессе испытаний происходило изменение микротвёрдости хромового покрытия, которое могло повлиять на изменение износостойкости. Так, 100 ч испытаний привело к снижению с 11500 до 7500 МПа. Испытания показали, что изменение микротвёрдости на износостойкость хромового покрытия незначительно повлияло, что подтвердило целесообразность использования способа для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании [46].

В результате полученных данных были сделаны выводы, что с увеличением нагрузки интенсивность изнашивания всех поверхностей со временем увеличивается по линейному закону (рис. 8, б).

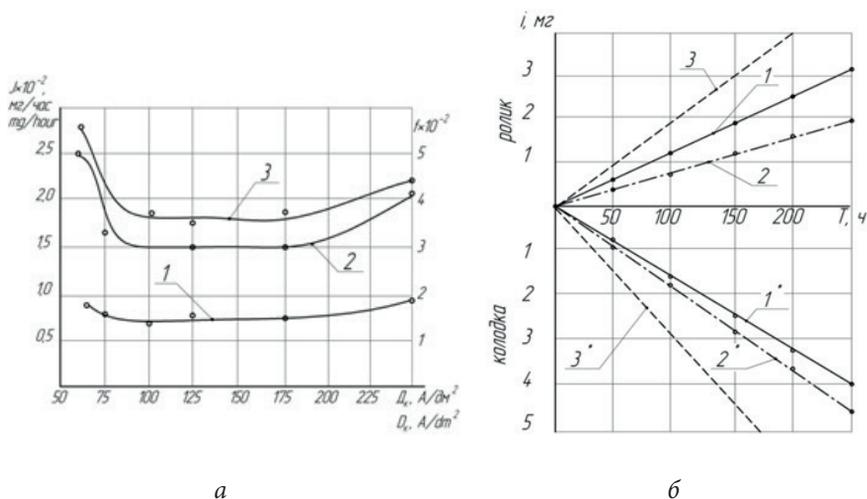


Рис. 42. Испытания износостойкости хромовых покрытий: а – зависимость катодной плотности тока на процесс изнашивания: 1 – образец-ролик; 2 – колодка и 3 – коэффициент трения; внешняя нагрузка 100 кг/см²; б – изнашивание пар трения ролик-колодка с роликом с различными покрытиями: 1 – в универсальном электролите; 2 – в разработанном электролите; 3 – без покрытия

Было также установлено, что хромовые покрытия, полученные из нового электролита, обладают в 1,6 раз большей износостойкостью по сравнению с эталонной парой трения колодка-ролик. Можно сделать заключение о возможной применимости данного способа для восстановления деталей автомобилей и дорожно-строительной техники, работающих при гидроабразивном изнашивании.

Полученные результаты исследований изнашивания различных хромовых поверхностей удовлетворительно объясняют согласно теории, изложенной в теории внешнего износа и трения.

Выводы:

1. Исследования нового состава электролита показали, что наибольшее влияние на физико-механические свойства хромовых покрытий и стабильность осаждения, с целью получения качественных покрытий, оказывает плавиковая кислота. Наиболее оптимальное количество плавиковой кислоты составило в пределах 0,65–0,9 г/л.

2. Установлено, что в предлагаемом растворе можно получать покрытия толщиной до 0,5 мм, обладающие практически одинаковыми свойствами как по толщине, так и в зависимости от катодной плотности тока в интервале от 75 до 200 А/дм².

3. Определены условия приработки хромовых покрытий, обеспечивающие формирование рабочего рельефа поверхностей трения без повреждений, минимизацию коэффициента трения и интенсивность изнашивания.

4. Выявлены преимущества осадков хрома в электролите с добавкой HF и прошедших приработку при внешней нагрузке до 20 кг/см² (по сравнению с покрытиями из электролита без добавки и универсального):

а) обладают наибольшей износостойкостью и лучшими антифрикционными свойствами;

б) изменение плотности тока в пределах от 75 до 200 А/дм² не влияет на величину износа.

5. Износостойкость осадков, полученных в электролите с добавкой плавиковой кислоты, не уступает износостойкости хрома, осаждаемого в универсальной ванне, а по сравнению с эталонной парой трения выше на 2–30 %.

6. Выполненные исследования прочности сцепления и износостойкости показали, что полученные результаты подтвердили использование для восстановления деталей автомобилей и дорожно-строительных машин, работающих при гидроабразивном изнашивании, примером которых являются золотники гидрораспределителей, плунжеры гидравлических и топливных насосов и др.

12. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТРАВЛЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ НА КАЧЕСТВО ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

В результате проведенного литературного анализа, было выявлено, что основными операциями, влияющими на прочность сцепления, являются электрохимическое травление и активирование.

Поэтому электрохимическое травление используют с целью ускорения процесса травления и повышения прочности сцепления электролитических хромовых покрытий. Оно отличается от химического тем, что процесс происходит при пропускании через детали и раствор электрического постоянного тока от внешнего источника, при этом скорость травления увеличивается в десятки раз, уменьшается расход кислоты.

Для травления черных металлов обычно используют растворы кислот, чаще серной, и солей соответствующих металлов. Детали навешивают в ванну и включают в качестве катода или анода в электрическую цепь. Различают катодное и анодное травление [42, 72, 75, 102, 130, 145].

Наиболее распространенным считается анодное травление. Оно происходит за счет электрохимического растворения металла, химического растворения и механического отрывания оксидов от поверхности металла выделяющимся на аноде кислородом. Обычно для анодного травления стали применяют серную кислоту концентрации 200–250 г/л или подкисленные растворы сульфата или хлорида железа. Температура электролитов 20–60 °С, анодная плотность тока 5–10 А/дм².

Обычно катодами при травлении в сернокислом электролите служит свинец, а в хлористом – сталь. Продолжительность обра-

ботки зависит от состояния поверхности и режимов травления (чем выше температура раствора и плотность тока, тем больше скорость травления) и колеблется от 0,5 до 5 мин. Частицы шлама с поверхности металла удаляют так же, как и при химическом травлении.

Известно, что при катодном травлении на поверхности изделия бурно выделяется водород, который частично восстанавливает оксиды, разрыхляет их пленку и механически отрывает ее от поверхности металла. При этом исключается опасность перетравления, однако происходит наводороживание поверхности (но значительно меньше, чем при химическом травлении), что повышает хрупкость и снижает сцепляемость покрытия. Кроме того, при катодном травлении процесс продолжается в 1,5 раза дольше, чем при анодном. Для предохранения стали от наводороживания применяют специальные растворы, содержащие соли свинца или олова. Иногда попеременно включают изделия в качестве катода и анода (или наоборот). При такой обработке используют положительные стороны катодного и анодного процессов, что ускоряет травление, способствует уменьшению наводороживания и образования шлама.

Активация – обработка поверхности покрываемого металла химическим или электрохимическим способом для снятия окисного слоя непосредственно перед получением покрытия. Она представляет собой окончательную операцию подготовки деталей, заключающуюся в легком травлении их поверхности и обеспечивающую высокую прочность сцепления покрытий. Ее проводят непосредственно перед погружением деталей в гальваническую ванну для покрытия или в самой ванне.

В качестве исследований был взят разработанный электролит хромирования состава: 420 г/л хромового ангидрида, 50 г/л карбоната кальция, 10 г/л сульфата никеля, 10 г/л сульфата кобальта и 0,65-0,9 г/л плавиковой кислоты.

В качестве образцов для исследований использовали стержни диаметром 10 мм, изготовленных из Стали 40X и закалённых до твёрдости HRC 55–60 (рис. 43).



Рис. 43. Образцы для исследования прочности сцепления на различных режимах

Травление проводили в электролите с содержанием 365 г/л серной кислоты (30%-й раствор) и 15–20 г/л сернокислого железа ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) плотностью 1,23 г/см³ при температуре 18–25 °С. Для приготовления растворов рабочую ванну заполняли водой до половины объема. Затем, осторожно перемешивая, добавляли серную кислоту, после чего ванну доливали водой до рабочего уровня [66].

Детали завешивали на анодную специальную подвеску. Катодами служили свинцовые пластины, площадь которых в 3–4 раза больше площади покрываемых поверхностей деталей. Стальные изделия обрабатывали при анодной плотности тока 20–150 А/дм² в течение 20–120 мин, используя специальную установку для поддержания необходимых режимов.

При данных режимах через некоторое время после начала травления напряжение на ванне повышается, а сила тока снижается. Это объясняется переходом металла из активного состояния в пассивное (пассивирование поверхности) и сопровождается бурным выделением кислорода. Пузырьки кислорода срывают травильный шлам, и обрабатываемая поверхность становится чистой, с отчетливо выявленной кристаллической структурой и специфическим микрорельефом.

Контроль за качеством анодной обработки проводили визуально по изменению цвета. Нормально протравленная поверхность светло-серого, матового цвета, металлический блеск на отдельных участках или всей поверхности свидетельствует о недостаточной обработке, а тёмные полосы, чёрные точки на тёмно-сером общем фоне поверхности – о её перетравливании.

Активирование осуществляли непосредственно в растворе хромирования известного состава при этом изменяли количество плавиковой кислоты и время активации. При этом определяли прочность сцепления с изменением параметров проведения процесса. Режимы проведения активации изменяли при анодной плотности тока 20–100 А/дм² в течение 10–60 с при температуре электролита 18–35 °С [75].

В процессе эксплуатации состав электролита изменялся. В нем постепенно накапливалось железо (при травлении деталей из черных металлов) и уменьшалась концентрация кислоты, в результате чего снижалась скорость травления. Кроме того, вследствие испарения и уноса электролита деталями изменяется его концентрация и уровень. С помощью ареометра проверяли концентрацию электролита и, если необходимо, необходимо добавить кислоту или воду.

При нарушении нормальной работы состав электролита травления проверяли химическим анализом.

Прочность сцепления измеряли с помощью матрицы и прессы гидравлического на 10 тонн. При этом прочность определялась исходя из давления, при котором происходило разрушение или повреждение хромового покрытия.

При проведении исследований было получено, что наилучшую прочность сцепления хромовых покрытий с закалённой сталью 40Х можно получить после двукратной анодной обработки поверхностей деталей: электрохимического травления в разбавленной серной кислоте и активирования в рабочем растворе электролита хромирования. При этом существенное влияние на прочность сцепления оказывают режимы анодной обработки – продолжительность травления, анодная плотность тока. Кроме того, при проведении активирования в рабочем растворе влия-

ние на прочность сцепления оказывает количество плавиковой кислоты, которая может варьироваться в пределах 0,6–0,9 г/л.

Предварительными исследованиями была выбрана оптимальная анодная плотность тока 120 А/дм² при травлении в сернокислой ванне. При плотности анодного тока от 130 до 160 А/дм² продолжительность эффективного травления до начала перетравливания поверхности составляла соответственно 60 и 40 секунд. В интервале плотностей тока 100–120 А/дм² осуществляли травление поверхности без видимых следов перетравливания в течение 90–120 с. Снижение анодной плотности тока от 100 до 60 А/дм² приводило к увеличению времени травления от 120 до 180 секунд соответственно, причем цвет обрабатываемой поверхности за всё время травления оставался серым, ближе к тёмно-серому. Дальнейшее снижение анодной плотности тока до 20 А/дм² приводило к увеличению длительности травления до 7 минут, причём на протяжении первых 90 секунд поверхность имела явно выраженный металлический блеск, свидетельствовавший о неэффективности анодного травления. В целях плавности управления процессом и повышения эффективности анодного травления нами была выбрана плотность 120 А/дм² [42, 47].

В результате исследований было выявлено, что при этой плотности тока максимальное значение прочности сцепления получают при продолжительности анодной обработки в течение 30 секунд и достигает значения 285 МПа (рис. 44). Дальнейшее увеличение продолжительности анодного травления приводит к снижению прочности на срез до 195 МПа. С целью обеспечения наилучшей сменяемости покрытий с основой, продолжительность обработки должна составлять 30–40 секунд.

Исследование влияния продолжительности и анодной плотности тока активирования на сцепляемость хромовых покрытий, осаждённых из разработанного электролита с добавкой плавиковой кислоты, проводили непосредственно в ванне хромирования при концентрации неорганической добавки плавиковой кислоты 0,8 г/л. Предварительно осуществляли анодное травление образцов в ванне травления при плотности тока 120 А/дм², температуре 20 °С в течение 60 секунд, а затем кратковременную промывку под проточной водой.

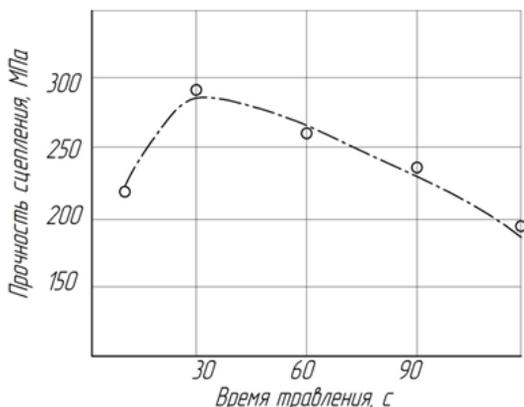


Рис. 44. Влияние продолжительности анодного травления на прочность сцепления при анодной плотности тока $D_a = 120\text{--}130 \text{ А/дм}^2$

При анодной плотности тока 40 А/дм^2 (рис. 45) с увеличением продолжительности активирования прочность сцепления повышается от 126 до 168 МПа. Однако более эффективно активирование происходит при анодной плотности 80 А/дм^2 и продолжительности операции более 50 секунд (рис. 45, кривая 2).

Однако при анодной плотности тока 100 А/дм^2 и продолжительности 10 секунд (рис. 45, кривая 3) наблюдается наибольшая прочность сцепления. Однако увеличение продолжительности процесса способствует уменьшению прочности сцепления покрытий с материалом основы. Это снижает стабильность и надёжность получения высокой прочности сцепления, усложняет эксплуатацию ванны.

Исследования показали, что введение в разработанный электролит неорганической добавки плавиковой кислоты не ухудшает прочности сцепления осаждаемого покрытия с основой по сравнению с покрытиями, полученными из электролита без добавки (рис. 46). Прочность сцепления покрытий, при изменении концентрации плавиковой кислоты от 0,6 до 0,9 г/л, колебалась в интервале 270–218 МПа, а разрушение покрытий происходило с частичным разрушением металла основы со следами покрытия на образце (рис. 46). Это позволило предположить, что силы сцепления хромового покрытия и основного материала соизмеримы с межмолекулярными силами покрытия и материала основы [42].

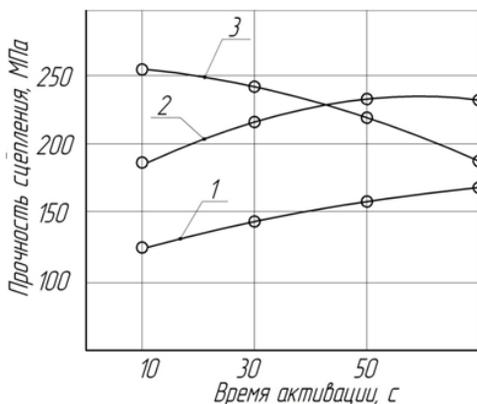


Рис. 45. Влияние продолжительности активирования в ванне хромирования на прочность сцепления при концентрации плавиковой кислоты 0,8 г/л и анодной плотности тока, А/дм²: 1 – 40; 2 – 80; 3 – 100

Выявленные закономерности изменения прочности сцепления условий анодной подготовки (рис. 44–46) наиболее полно описываются математическим анализом полученных результатов. Таким образом, проведённые исследования позволили установить, рациональные условия предварительной подготовки закалённой стали 40Х, из которой изготовлены детали, работающие при гидроабразивном изнашивании – золотники гидрораспределителей, плунжера насосов и др. При этом, время электрохимического травления составляет 60–90 секунд, плотность травления 130–140 А/дм² и количество плавиковой кислоты в диапазоне 0,6–0,9 г/л, это обеспечивает высокую прочность сцепления с хромовыми покрытиями. Поэтому это даёт основание рекомендовать использование таких покрытий для восстановления ответственных деталей автотранспорта, работающих при гидроабразивном изнашивании.

Проведенные исследования влияния качества поверхности перед хромированием показали, что ее шероховатость оказывает значительное влияние на качество и прочность сцепления хромового покрытия. Поэтому были подготовлены образцы с различной шероховатостью для изучения качества и прочности сцепления получаемых хромовых покрытий.

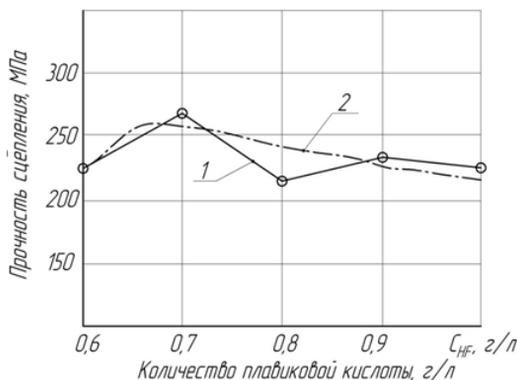


Рис. 46. Влияние концентрации плавиковой кислоты на прочность сцепления покрытий с основой: 1 – экспериментальная зависимость; 2 – теоретическая функция

Результаты зависимости микротвердости и количества пор получаемого хромового покрытия от шероховатости поверхности подготовленной детали перед нанесением покрытия показаны на рис. 47.

Из рис. 47 видно, что наиболее оптимальное значение шероховатости подготовленной поверхности перед хромированием – менее 0,32 мкм. С учётом допуска на шлифование при использовании согласно рекомендациям [18, 42, 72] режимов и марки шлифовального круга можно достичь шероховатость в пределах 0,16...0,32 мкм. Это позволит получать хромовые покрытия с достаточно высокой микротвердостью и минимально возможным количеством пор, что дает возможность использовать данный способ для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

Также кроме качества покрытия изучалось влияние шероховатости поверхности, предварительно подготовленной под хромирование, на прочность сцепления хромового покрытия с основой детали [62].

В результате исследований было получено, что при увеличении шероховатости поверхности прочность сцепления будет снижаться. Данная зависимость показана на рис. 48.

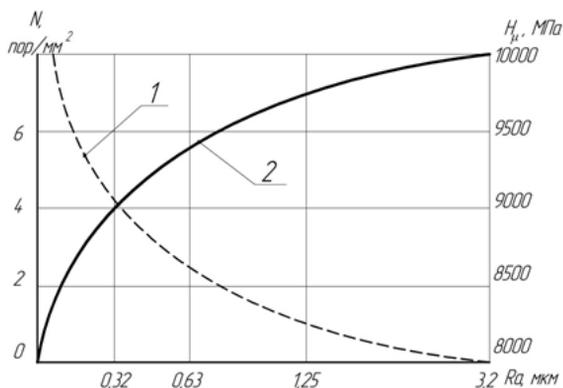


Рис. 47. Влияние шероховатости поверхности на микротвёрдость хромового покрытия и количества пор: 1 – микротвёрдость, МПа; 2 – количество пор, пор/мм²

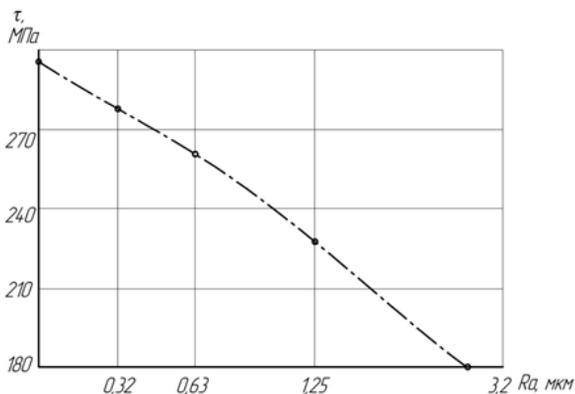


Рис. 48. Влияние шероховатости поверхности детали на прочность сцепления хромового покрытия с основой детали

Анализ рис. 2 показывает, что наилучшего сцепления хромовое покрытие достигает при шероховатости подготовленной поверхности до 0,63 мкм. При дальнейшем увеличении шероховатости, вследствие неправильного выбора режимов шлифования или марки круга, приводит к снижению прочности сцепления, что усложняет механическую обработку хромового покрытия в результате возможных появлений дефектов в виде сколов, трещин и

т. д. Поэтому, чтобы успешно применять разработанный электролит хромирования для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании, необходимо соблюдать рекомендации по шероховатости в пределах 0,16...0,32 мкм.

Были получены результаты исследований – влияние качества предварительной обработки поверхности перед нанесением хромовых покрытий, для восстановления деталей машин, работающих при гидроабразивном изнашивании. Получено, что шероховатость оказывает значительное влияние на качество и прочность сцепления с деталью хромового покрытия, получаемого из разработанного электролита хромирования.

Наиболее оптимальная шероховатость детали перед нанесением хромовых покрытий – в пределах 0,16...0,32 мкм. Данное значение шероховатости можно достичь путём соблюдения технических условий на механическую обработку для соответствующего материала. Также рекомендуемая оптимальная шероховатость позволит получить максимальную прочность сцепления хромового покрытия с поверхностью детали, более 270 Мпа [77].

На основании вышеизложенного можно заключить, что использование рекомендаций по подготовке поверхности перед нанесением хромового покрытия из разработанного электролита позволит использовать данный способ для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании (золотники, плунжера и т. д.).

13. КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Коррозионная стойкость – одно из основных требований к хромовым покрытиям, используемым при восстановлении деталей автотранспорта, работающего в различных климатических и дорожных условиях. Работа агрегатов гидропривода, топливной аппаратуры и др. сопровождается постоянно с высокими рисками для деталей, работающих в агрессивных средах и тяжёлых условиях работы. Поэтому проведение коррозионных испытаний деталей, восстановленных с помощью разработанного электролита

хромирования, является важным этапом по внедрению в производство по восстановлению деталей автотранспорта.

Исследованиями было установлено, что на скорость коррозии металлов, в частности хромовых покрытий, влияют различные загрязнения, содержащие различные соли и пыли. При этом на скорость коррозии хромовых покрытий особенно сильное влияние оказывает соединение хлоридов, в частности соляная кислота и её соединения.

Проведенные исследования нового состава холодного саморегулирующегося электролита хромирования позволили получить оптимальный следующий состав электролита: хромовый ангидрид 420–450 г/л, сульфат никеля – 10 г/л, сульфат кобальта – 10 г/л, плавиковая кислота 0,65–,9 г/л, при оптимальных следующих режимах: плотность тока 75–200 А/дм², рабочая температура электролита 18–35 °С. При этом выход по току достигал 50 %. В дальнейшем потребовались исследования коррозионной стойкости получаемых покрытий с целью использования данного электролита для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании [45].

С целью осуществления ускоренных коррозионных испытаний была изготовлена установка (рис. 49) и согласно методике стандарта, описанного в ГОСТ 9.308-85, были проведены соответствующие исследования.

Коррозионные испытания проводились с использованием паров соли, имеющих соединение хлора – хлористый натрий ГОСТ 4233-77. При этом создавалась повышенная влажность и температура с одновременным введением агрессивной среды [45].

Для определения первоначальной массы заготовок-образцов, они взвешивались с помощью аналитических весов ВАЛ-200, после чего помещались в установку для коррозионных испытаний, где они навешивались на специальную подвеску в верхней части (рис. 49).

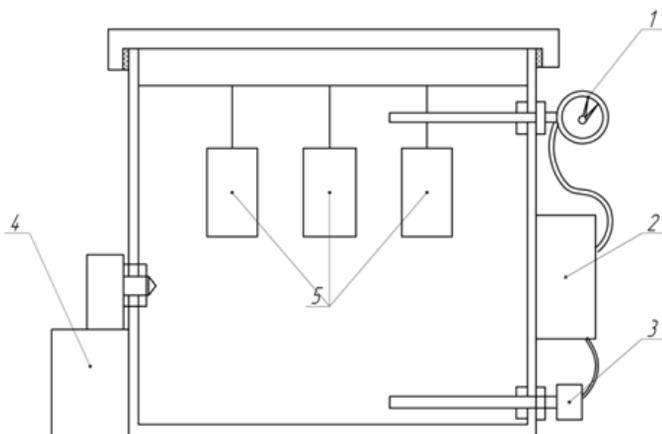


Рис. 49. Установка для коррозионных испытаний: 1 – датчик температуры с указателем температуры внутри установки; 2 – блок управления температурой; 3 – ТЭН; 4 – распылитель агрессивной среды (солевого тумана)

Для проведения коррозионных испытаний было изготовлено 12 образцов со следующими размерами: диаметр 12 мм, длина 23 мм (площадь покрытия 0,1 дм²). Непокрытая поверхность тщательно изолировалась с помощью коррозионностойких материалов. Из 12 образцов 6 – покрывались хромом из разработанного электролита, 6 – изготавливались из материала, который используется в деталях гидропривода, а именно золотники – Сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Образцы испытывали при навеске трёх образцов за один раз [45].

В качестве соляного раствора для получения соляного тумана использовали раствор хлористого натрия ГОСТ 4233-77 с концентрацией 50 г/л. При этом температуру в камере установки нагревали и поддерживали в пределах 35 °С, с воздействием солевого тумана, периодичность распыления – 1 раз в час. Испытания каждой партии образцов проводили в течение 240 часов.

После окончания испытаний партия образцов изымалась из установки, очищалась от продуктов коррозии путём погружения образцов в 8%-й раствор щёлочи, выдерживалась в течение 20 минут при температуре раствора 20 °С. После удаления продуктов коррозии образцы тщательно промывались, просушивались

и взвешивались, после чего определялась потеря массы образца. Данные фиксировались и записывались в журнале [45].

Далее приведены результаты проведения коррозионных испытаний образцов по потере массы через 240 часов испытаний (табл. 7).

Таблица 7

Данные по коррозионным испытаниям

№ образца	Вид покрытия	Масса до испытания, г	Масса после испытания, г	Потеря массы, $\Delta m = m_1 - m_2$, г
1	хромированная	12,50740	12,50120	0,0062
2	хромированная	12,65440	12,64810	0,0063
3	хромированная	12,52420	12,51810	0,0061
4	хромированная	12,75450	12,74720	0,0073
5	хромированная	12,54250	12,53520	0,0073
6	хромированная	12,72205	12,71425	0,0077
7	без покрытия	12,00502	11,08525	0,01977
8	без покрытия	12,00800	11,08835	0,01965
9	без покрытия	12,01150	11,09205	0,01945
10	без покрытия	12,00251	11,08325	0,01926
11	без покрытия	12,02542	12,00212	0,02330
12	без покрытия	11,09802	11,07625	0,02177

В результате анализа полученных результатов (табл. 7) выявлено, что хромовые покрытия, получаемые из разработанного электролита, обладают достаточно высокой коррозионной стойкостью, что подтверждает использование данной технологии при восстановлении деталей автотранспорта, в частности деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании – золотники гидрораспределителей, плунжера насосов и др.

14. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ХРОМИРОВАНИЕМ

При изготовлении и восстановлении деталей машин используются различные способы и приёмы для увеличения срока их

службы и повышения ресурса агрегата или узла в целом. Одним из способов для получения износостойких и твёрдых покрытий является – хромирование, которое по сравнению с другими способами обладает рядом преимуществ: отсутствие температурного влияния на поверхности детали, высокая износостойкость и коррозионная стойкость и др. Однако данный способ из-за низкой производительности имеет ограниченное применение в производстве.

Авторами был исследован существующий высокопроизводительный электролит хромирования, имеющий один недостаток – узкий интервал рабочих температур (18–23 °С). В процессе анализа был использован один из способов интенсификации процесса хромирования – изменение состава с добавлением неорганической добавки, благодаря которой появилась возможность расширить температурный режим с получением качественных хромовых осадков.

Исследования были проведены в научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) «Реновация машин и оборудования» ПГУ им. Т.Г. Шевченко, в результате которых был разработан холодный саморегулирующийся электролит хромирования следующего состава (г/л): CrO_3 – 400–420; CaCO_3 – 50–70, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 и HF – 0,7–0,85, который обеспечивает осаждение качественных покрытий толщиной более 0,5 мм со скоростью 100–400 мкм/ч, с выходом по току 46–50 % и микротвёрдостью 8500–12000 МПа, при температуре электролита 18–35 °С и катодной плотности тока 75–200 А/дм², износостойкость которых в 2,5–3 раза выше по сравнению с эталонной парой трения [75].

Полученные данные позволяют рекомендовать использовать данный электролит при восстановлении и упрочнении деталей, подвергающихся в процессе работы воздействию больших знакопеременных нагрузок, низких и высоких температур, а также коррозионно-активной среды.

Для внедрения данного электролита в производство необходимо разработать рекомендации, соблюдение которых позволит обеспечить высокий уровень технологической надёжности и осаждение качественных покрытий с заданными физико-механическими свойствами.

При разработке производственных рекомендаций авторы использовали системный подход в организации и технологии нанесения хромовых покрытий из разработанного электролита, основываясь на результатах лабораторных и производственных исследований.

Известно, что электролитическое хромирование – это один из процессов нанесения гальванического покрытия, который используется для осаждения покрытия с необходимыми свойствами. Для этого требуется выполнение целого ряда операций, которые выполняются в определённой технологической последовательности в зависимости от состава электролита и требований, предъявляемых к наносимому покрытию.

В разработанный типовой технологический процесс хромирования входят следующие технологические операции: моечная, дефектовочная (для деталей, подлежащих восстановлению), шлифовальная, монтажная, электрохимическое обезжиривание, промывочная (в горячей, а затем холодной воде), электрохимическое травление, промывочная (в холодной воде), хромирование (активирование с последующим хромированием), промывочная (в ванне улавливания, а затем в холодной воде), демонтажная (демонтаж деталей с подвесного устройства), сушильная, контрольная, шлифовальная (доводочная), моечная, контрольная.

С учётом особенностей процесса хромирования из разработанного электролита предъявляются определённые требования к выполняемым операциям.

Так, предварительная механическая обработка предназначена для восстановления геометрической формы покрываемой поверхности детали с удалением следов износа (в случае восстановления изношенных деталей) и других дефектов (окалины, заусенцев, рисок, раковин) и придания ей необходимой шероховатости. Способ механической обработки зависит от исходного состояния и требуемой шероховатости поверхности, а также от размеров деталей. Во избежание образования дендритов острые кромки, фаски и углы следует притупить [75].

Изоляцию поверхностей, неподлежащих покрытию, проводят с целью защиты и сохранения геометрических размеров участков деталей, которые не покрываются хромом, в результате чего

уменьшаются непроизводственные потери электрической энергии, раствора электролита, а также защищается от коррозии непокрываемая поверхность. Для этого используют специальные ток непроводящие материалы (диэлектрики) для исключения осаждения на них металла.

Для использования материала в качестве изолирующего при хромировании необходимо, чтобы материал был химически устойчивым к длительному воздействию на него электролита хромирования; он должен быть нерастворимым в электролите и не должен быть причиной засорения его продуктами, растворимыми в электролите; изолированная часть в процессе осаждения не должна проводить электрический ток; после использования не должна становиться пористой или хрупкой под влиянием раствора электролита; а также после нанесения хромовых покрытий изоляционный материал должен быстро и легко сниматься с детали; кроме того, материал должен быть доступным и достаточно недорогим.

В качестве изоляции используют постоянные изоляторы (часть подвесной оснастки) или в комбинации с различными изолирующими материалами, имеющими возможность механическим путём или литьём изготовить копию профиля детали. Используемые изоляторы бывают следующие: съёмные коробки, футляры, трубки, шайбы. Изоляторы изготавливают по профилю защищаемой поверхности из следующих материалов: винилпласта, эбонита, керамики и других не проводящих ток и химически стойких материалов.

При использовании в качестве изоляции рекомендуется применять кислотостойкую резину, полихлорвиниловую изоляционную ленту, листовой целлулоид, пленочные полимерные материалы (полихлорвиниловые пластикаты, фторопласт-4), перхлорвиниловую эмаль ПХВ-715 на растворителе № 646, смесь цапонлака (раствор целлулоида в ацетоне) и нитрокраски в отношении 1:2, церезин, пластизоль.

Для изоляции деталей несложной формы можно использовать пленочные материалы, которые плотно изолируют и защищают от контакта с электролитом, при этом материал обладает хорошей токонепроводимостью.

При использовании лакокрасочных изоляционных материалов, в качестве защиты деталей сложной формы, которые можно наносить на детали с использованием пульверизатора или кисти, также используется метод погружения деталей в жидкий изоляционный материал. Обычно наносится 2–3 слоя, с промежуточной сушкой каждого слоя.

При электрохимическом обезжиривании, цель которого – удаление с покрываемой поверхности детали жировых и других загрязнений, детали погружают в водный щелочной раствор и подключают к источнику постоянного электрического тока, деталь здесь может служить в качестве катода или анода. В процессе электрохимического обезжиривания на поверхности электродов бурно выделяются пузырьки газа, водород – на катоде, кислород – на аноде. Данная операция облегчает механическое разрушение и удаление жировых загрязнений с очищаемой поверхности детали, в результате чего процесс обезжиривания будет происходить в несколько раз быстрее.

Известно, что электрохимическое обезжиривание можно вести как на катодном, так и на анодном режимах. При этом на катодном будет выделяться в 2 раза больше газа, чем на аноде, поэтому производительность обезжиривания на катоде будет выше, чем на аноде. В процессе обезжиривания на катоде будет происходить наводороживание поверхности детали (проникновение водорода внутрь металла), при котором будет увеличиваться ее хрупкость и снижаться усталостная прочность. Также ухудшается сцепление хромовых покрытий с поверхностью детали и даже может произойти их отслоение [75].

В связи с возникающими проблемами при электрохимическом обезжиривании следует использовать либо анодное обезжиривание (3–10 минут), либо комбинированный способ (плотность тока 10–12 А/дм²), при котором сначала проводят обезжиривание на катоде в течение 4–5 минут, а затем, меняя полярность, с помощью перекидного рубильника переключают деталь на анод и обезжиривают в течение 1–2 минут. При этом детали, изготовленные из меди и ее сплавов необходимо обезжиривать только на катоде, так как в противном случае детали будут окисляться и покрываться трудноудаляемой пленкой.

Установлено, что также в качестве второго электрода возможно использовать пластины из стали. Однако для предупреждения загрязнения раствора железом его необходимо покрыть слоем электролитического никеля толщиной 0,015–0,020 мм или одеть чехлы из стеклоткани. При этом расстояние между электродами должно быть в пределах 50–150 мм.

Известно, что для ускорения процесса обезжиривания можно использовать переменный вместо постоянного тока. Так, на ванну с использованием понижающего трансформатора подается переменный ток с промышленной частотой и плотностью тока 8–10 А/дм². При этом в качестве обоих электродов (анодов и катодов) используют обрабатываемые детали, в результате чего улучшается использование объема ванны и тем самым в несколько раз снижается расход электроэнергии, также устраняется опасность наводороживания деталей из-за выделения при электролизе молекулярного водорода. Поэтому продолжительность процесса электрохимического обезжиривания сокращается до 2–5 минут.

После электрохимического обезжиривания детали необходимо тщательно промыть сначала горячей (70–80 °С), а затем холодной водой, с целью удаления с деталей и подвесных устройств остатков электролита обезжиривания.

Качество выполнения обезжиривания оценивается высоко, если вода равномерно растекается и смачивает всю поверхность детали, а не собирается каплями.

Одной из операций подготовки поверхности к хромированию является также электрохимическое травление. Оно в равной степени, как и химическое, необходимо для удаления окисной пленки с покрываемой поверхности и последующего образования защитной с целью обеспечения лучших условий сцепления хрома с основой покрываемой поверхности. Многочисленными исследованиями, в том числе и настоящим, было установлено, что прочность сцепления покрытия с материалом детали, прежде всего, предопределяется эффективностью процесса удаления окисной пленки, которая зависит от химического состава электролита и режимов электролиза. Электрохимическое травление отличается от химического тем, что процесс происходит при пропускании через детали и раствор электрического тока от внешнего источ-

ника, при этом скорость удаления окисной плёнки увеличивается в десятки раз, уменьшается расход кислоты и достигается более высокое качество травления. В зависимости от марки и состава материала для химического и электрохимического травления применяют электролиты различного химического состава. Так, для травления черных металлов обычно используют растворы кислот, чаще серной, ортофосфорной, соляной и солей соответствующих металлов. Различают катодное и анодное электрохимическое травление.

Исследованиями установлено, что анодное травление более эффективно, так как оно происходит в результате электрохимического растворения металла, химического растворения и механического снятия оксидов с поверхности металла с помощью выделяющегося на аноде кислорода. Так, для анодного травления стали используют серную кислоту с концентрацией 200–250 г/л или с подкисленными растворами сульфата или хлорида железа, с рабочей температурой электролитов 20–60 °С, при анодной плотности тока 5–10 А/дм².

В качестве катодов при травлении в серноокислом электролите используют сплав свинца с сурьмой, а в хлористом – сталь. При этом продолжительность обработки зависит от состояния поверхности и режимов травления – чем выше температура раствора и плотность тока, тем больше скорость травления (колеблется от 0,5 до 5 минут). При этом частицы шлама с поверхности детали удаляют так же, как и при химическом травлении.

При использовании катодного травления на поверхности детали бурно будет выделяться водород, который будет частично восстанавливать оксиды, разрыхлять их пленку и механически отрывать ее от поверхности металла. В результате исключается опасность «перетравления», однако будет происходить наводороживание поверхности детали (однако значительно меньше, чем при химическом травлении), что повысит хрупкость и снизит сцепляемость хрома с покрытием. Ещё при катодном травлении процесс проходит в 1,5 раза дольше, чем при анодном. Поэтому для исключения наводороживания поверхности стали используют специальные растворы, которые содержат соли свинца или олова. Иногда используют комбинированное травление, поперемен-

но включая деталь в качестве катода и анода (или наоборот), при этой обработке используются положительные стороны катодного и анодного процессов, которое ускоряет травление и способствует уменьшению наводороживания с образованием шлама [75].

При проведении хромирования изначально нужно определить необходимую толщину хромированной поверхности с учётом допуска на последующую обработку. Для определения толщины покрытия используют следующую формулу:

$$h = \frac{D_2 - D_1}{2}, \quad (16)$$

где D_1, D_2 – соответственно первоначальный размер покрываемой поверхности детали перед хромированием, и после хромирования с учётом припуска на последующие механические обработки, мм.

Припуск на последующую механическую обработку принимают 0,05–0,20 мм на диаметр, в зависимости от толщины и равномерности осаждаемого покрытия.

Основное время нанесения электролитического хрома рассчитывается по формуле [75, 105, 124, 126]:

$$T_0 = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot h \cdot 60}{\eta \cdot D_k \cdot E}, \text{ мин} \quad (17)$$

где γ – плотность электролитического хрома, г/см³; h – толщина хромового покрытия, мм; η – выход по току, %; D_k – катодная плотность тока, А/дм²; E – электрохимический эквивалент, г/А·ч.

На основании рекомендаций разработанного электролита хромирования принимается: $\gamma \sim 6,9$ г/см³; $\eta = 47,5 \pm 2,5\%$; $D_k = 75\text{--}200$ А/дм²; $E = 0,324$ г/А·ч [75].

При хромировании целесообразно использовать нерастворимые аноды, площадь поверхности которых должна быть в 2 раза больше площади хромируемой поверхности. Материал анодов – сплав свинца с сурьмой и оловом (не менее 5 %). Поверхность анодов в процессе электролиза обычно покрывается темной, твердой пленкой оксидов, которая оказывает большое сопротивление прохождению тока и обуславливает повышенное напряжение на штангах ванны. Для предотвращения образования такой пленки

во время простоев ванны аноды извлекают из электролита и хранят в воде. Образовавшуюся пленку устраняют травлением анодов в слабом растворе соляной кислоты или металлической щеткой.

Так как хромовый электролит обладает высоким сопротивлением, расстояние между анодами и деталями принимают небольшим (30–50 мм), Расстояние деталей от дна ванны должно быть не менее 100–150 мм, а от верхнего уровня электролита – 50–80 мм.

Для исключения попадания в канализацию электролита хромирования, с целью снижения потерь дорогостоящих химреактивов, которые связаны с уносом электролита покрываемыми деталями и их подвесками (при котором унос может достигать 50–250 мл раствора на 1 м² поверхности, контактирующей с электролитом), для этого необходимо первую промывку проводить после наращивания хрома в ванне для улавливания электролита заполненной чистой дистиллированной водой, при котором образующийся раствор можно использовать для пополнения уровня электролита основной ванны хромирования.

Последующую промывку можно осуществлять в обычной холодной проточной воде с оборотным водопотреблением. Для удаления влаги с поверхности деталей (после промывки) используют обдувку сжатым воздухом в течение 1–3 минут или в сушильном шкафу при температуре 50–110 °С в течение 5–10 минут [75].

Для приготовления электролита хромирования используют химреактивы, изготовленные по соответствующему ГОСТ. Для приготовления электролита хромирования необходимо очистить ванну и хорошо прополоскать в проточной воде для исключения на ее поверхности каких-либо загрязнений.

Также для приготовления электролита нужно выполнять определённую последовательность и требования. Так, предварительно очищенную и высушенную ванну нужно заполнить необходимым объемом (на 2/3 объема дистиллированной водой по ГОСТ Р 58144-2018). После этого небольшими порциями необходимо засыпать взвешенный хромовый ангидрид, точное количество которого необходимо для получения заданной концентрации хромовой кислоты, согласно используемой технологии. После того, как растворится хромовый ангидрид, необходимо осторожно,

небольшими порциями добавлять в ванну углекислый кальций, при этом температура раствора в ванне не должна превышать 40 °С. Далее необходимо добавить в ванну хромирования сульфаты никеля и кобальта согласно разработанной технологии. При этом более целесообразно предварительно в отдельном сосуде с дистиллированной водой растворить сульфат никеля и кобальта в необходимом количестве и затем отдельно залить в ванну с тщательным перемешиванием содержимого ванны. После растворения ингредиентов в растворе электролита хромирования нужно определить наличие сульфат ионов, которое необходимо для нормального протекания электролиза. Таким же образом добавляют необходимое количество плавиковой кислоты согласно необходимому составу электролита.

После приготовления раствора электролита необходимо время в течение 8–10 часов для стабилизации его состояния – выравнивания температуры, лучшего растворения химикатов и выделения необходимого количества активных веществ.

После стабилизации необходимо замерить плотность раствора с помощью ареометра при температуре 20 °С. Корректировку плотности производить, добавляя в ванну дистиллированную воду, с доводкой до оптимального значения согласно техническим требованиям.

Оборудование, рекомендуемое для хромирования, следующее: Ванна хромирования ОГ-1349А; источник электрического тока ВАКГ-1600, ванна для промывки 70-7888-1100 ГОСНИТИ.

Одной из важных операций после хромирования является термическая обработка хромированных деталей. Данная операция проводится с целью обезводороживания хромированной поверхности. Известно, что при электролизе выделяется большое количество водорода, который частично внедряется в покрытие, а также в основной металл детали. При этом будет увеличиваться хрупкость детали, а также снижаться ее усталостная прочность и сцепляемость покрытия с основой детали. Для удаления водорода, особенно ответственные хромированные детали, которые работают при больших знакопеременных динамических нагрузках, используют сушку в сушильном шкафу при температуре 180–230 °С в течение 1–3 часов [75].

Контроль качества покрытий. Технические требования к покрытиям установлены по ГОСТ 9.301–78, а методы контроля качества покрытий и правила их приемки – по ГОСТ 9.302–79.

Внешним осмотром покрытий выявляют наличие возможных дефектов, таких как шероховатость и дендритообразование, точечная пористость (питтинг), подгар, отслоения и сколы покрытия, механические повреждения, неоднородность оттенка, степени блеска и непокрытые участки.

Толщину хромового покрытия контролируют с помощью химических и физических методов.

Так, химические методы основаны на растворении покрытия на детали на выбранных участках поверхности, с помощью специально приготовленных растворов. Для этого толщину покрытия необходимо рассчитывать по времени полного растворения покрытия (струйно-периодический и капельный методы), или по объему раствора, которые были затрачены на удаление покрытия (струйно-объемный). При этом погрешность измерения большая и колеблется в пределах от ± 10 до ± 30 %. Также данные методы малопродуктивны и приводят к разрушению хромового покрытия и поверхности самой детали.

Для исключения недостатков химических методов используют физические методы. К ним относятся: метод прямого измерения, гравиметрический, магнитный, радиоактивный и оптический. Прямым измерением определяют толщину покрытий при восстановлении и упрочнении деталей. С помощью микрометра измеряют размеры детали до и после покрытия и по их разности находят толщину.

Также кроме измерения размеров микрометром используют метод завешивания детали до и после покрытия. Данный метод называется гравиметрическим. Разность массы показывает количество осаждённого хрома на детали. Для определения средней толщины покрытия необходимо произвести расчёт по формуле [75, 105, 106]:

$$h = \frac{\Delta m}{1000 \cdot \rho \cdot S}, \quad (18)$$

где Δm – разность массы детали до и после покрытия хромом, г; ρ – плотность хрома, (6,9 г/см³); S – площадь покрываемой детали, дм²; 1000 – коэффициент перевода толщины в мм.

Механическая обработка после хромирования. Механическая обработка хромовых покрытий по сравнению с обработкой пирометаллургических металлов имеет свои особенности, обусловленные их специфическими свойствами.

Детали, восстановленные электролитическим хромированием, целесообразно обрабатывают шлифованием. Исходя из опыта, хорошее качество обработки достигается при использовании кругов из электрокорунда белого с керамической связкой с зернистостью 25–40 и средне-мягкой твердостью (типа 24A25CM2K, 34A40CM2K), при следующих режимах: скорость вращения круга 25–35 м/с, а детали 25–60 м/мин; глубина шлифования (поперечная подача) до 0,012 мм; при продольной подаче 0,1–0,3 ширины круга. Также требуется обильное охлаждение (не менее 10 л/мин).

Химический анализ растворов производился по специальной методике, разработанной сотрудниками НИЛ «Реновация машин и оборудование» с участием авторов (см. прил. А).

В процессе нанесения хрома необходимо производить контроль и корректирование состава ванны хромирования. Для этого в начале смены в ванну хромирования доливают воду из ванны улавливания электролита до заданного уровня и перемешивают. Затем с помощью ареометра определяют плотность электролита, доводя концентрацию хромового ангидрида до заданного уровня, добавляя необходимое его количество.

Также один раз через 7–10 дней необходимо провести химический анализ электролита для определения содержания трех- и шестивалентного хрома, сульфатов и плавиковой кислоты. На основании выполненного анализа при недостаточном количестве кислоты в электролит необходимо вводить сульфат кобальта и никеля, растворы, которые приготавливают описанным выше способом и добавляют в ванну хромирования, перемешивая и отстаивая. В случае избытка сульфатов, накопление которых возможно за счет частых добавок хромового ангидрида, можно удалять лишнее введением в электролит углекислого бария из соотношения 2 г на 1 г лишней кислоты. Далее электролит перемешивают и

затем отстаивают в течение суток, в результате чего на дно ванны хромирования выпадает в осадок образовавшийся серноокислый барий, который не является помехой.

При хромировании деталей, площадь покрытия которых больше площади анодов, например, при покрытии внутренних поверхностей концентрация трехвалентного хрома в электролите постепенно возрастает, и при содержании его более 12 г/л ухудшается качество покрытий и снижается производительность осаждения. Поэтому для уменьшения содержания трехвалентного хрома необходимо проработать электролит током при большой поверхности анода и минимальной поверхности катода.

Для приготовления электролита травления необходимо рабочую ванну заполнить дистиллированной водой до половины объема, затем осторожно, небольшими объемами добавить рассчитанное количество серной кислоты с перемешиванием, после чего в ванну доливают воду до необходимого рабочего уровня.

Рекомендуется использовать электролит для анодного травления в виде 30%-го раствора серной кислоты, так при использовании 98%-й концентрации серной кислоты необходимое её количество составит 365 г/л, плотность готового раствора при температуре 20 °С должна составлять 1,22 г/см³. Для смягчения процесса травления в электролит травления добавляют до 15 г/л серноокислого железа ($\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). При отсутствии серноокислого железа с целью его накопления электролит прорабатывают током, из расчета прохождения количества электричества через 1 л электролита 30 А·ч, анодами при этом служат пластины из малоуглеродистой стали [75].

Как и электролит хромирования, электролит травления также необходимо контролировать и корректировать. Так, в процессе эксплуатации состав электролита изменяется. В нем постепенно накапливается железо (при травлении деталей из черных металлов) и уменьшается концентрация кислоты, в результате этого снижается скорость травления. Кроме того, вследствие испарения и уноса электролита деталями изменяется его концентрация и уровень. С помощью ареометра проверяют концентрацию электролита и, если необходимо, добавляют кислоту или воду.

При нарушении нормальной работы состав электролита проверяют химическим анализом. Так, сернокислые растворы необходимо менять при концентрации серной кислоты ниже 50 % от первоначальной, а также при содержании солей железа более 20–25 %.

Электролиты для обезжиривания готовят растворением необходимых количеств компонентов в воде. Вследствие высокой температуры электролита из него интенсивно испаряется вода. Поэтому ежедневно необходимо доливать ванну до рабочего уровня.

Также не следует допускать загрязнения электролита солями меди и ее сплавов, которые могут накапливаться в нем и образовывать на поверхности деталей налет, ухудшающий прочность сцепления покрытий. По этой причине запрещается чистить штанги над ванной (требование, общее для всех ванн). Перед обезжириванием с подвесок должны быть стравлены такие покрытия, как цинк, олово, свинец и хром, загрязняющие электролит при их растворении. Примеси меди удаляют контактным осаждением. Для этого в электролит помещают на несколько часов обезжиренные мотки проволоки или стальные листы.

Плавающие на поверхности обезжиривающего раствора жировые загрязнения необходимо периодически удалять черпаком или через сливной карман в ванне.

При электрохимическом обезжиривании на поверхности электролита образуется загрязненная пена, в которой накапливаются кислород и водород в виде гремучего газа. Во избежание его взрыва от искры, возникающей при разрыве контактов, пену надо удалять с поверхности электролита. По этой же причине следует завешивать детали на штанги и снимать с них при выключенном рубильнике. Состав электролита корректируют по результатам химического анализа.

В результате исследований установлено, что исходная шероховатость и способ предварительной механической обработки поверхности, подлежащей покрытию, оказывают существенное влияние на прочность сцепления, структуру и морфологию осаждаемого покрытия. Было выявлено, что при использовании в процессе предварительной обработки лезвийных инструментов происходит формирование в поверхностных слоях больших по

величине растягивающих напряжений и увеличение толщины дефектного слоя, чем при обработке абразивными и алмазными инструментами. Это при прочих равных условиях приводит к снижению прочности сцепления и формированию покрытий с более трещиноватой структурой и зарождению дендритов на поверхности при меньшей толщине покрытия и плотности тока. Поэтому предварительную механическую обработку целесообразно проводить шлифованием, хонингованием или ленточной обработкой на режимах, обеспечивающих шероховатость поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,63$ мкм. При этом процесс обработки следует осуществлять с использованием СОЖ.

Нами выявлено, что для анодного травления чёрных металлов целесообразно использовать в качестве катодов пластины из сплава свинца и сурьмы, при этом площадь их должна быть в 4–5 раз больше площади покрываемой поверхности детали. Так, детали из стали обрабатывают при анодной плотности тока 50–70 А/дм² в течение 2–3 минут, а из чугуна – при 18–20 А/дм² в течение 1,5–2 минут [75].

Также определено, что при анодном травлении деталей, которые подвергаются закалке с нагрева ТВЧ, его следует проводить при плотности тока 130–180 А/дм² в течение 1,5–2 минут. В результате использования данного режима через некоторое время после начала травления напряжение на ванне будет повышаться, а сила тока снижаться. Это объясняется переходом металла из активного состояния в пассивное (пассивирование поверхности), при этом процесс сопровождается бурным выделением кислорода. При этом пузырьки кислорода будут срывать травильный шлак, в результате обрабатываемая поверхность будет становиться чистой, с отчетливо выявленной кристаллической структурой и специфическим микрорельефом.

После травления необходимо провести визуальный контроль качества обработки. Так, для качественно протравленных деталей характерна светло-серая матовая поверхность без блеска, темных пятен и следов травильного шлама.

После травления обязательно предусматривается промывка в проточной воде в течение 1–1,5 минут. Это делается с целью уда-

ления остатков электролита травления с покрываемых деталей и подвесных устройств.

Установлено также, что при использовании для хромирования разработанного электролита целесообразно проводить электрохимическую активацию в рабочей ванне с целью удаления с поверхности пассивной пленки.

Экспериментально установлено, что наибольшая прочность сцепления хромового покрытия со стальными деталями при активировании достигается при анодной плотности тока 100–120 А/дм² и в течение 50–70 секунд с последующим «толчком тока» ($D_k = 150 \dots 180$ А/дм²) в течение 60–90 секунд при рабочей температуре электролита 18–35 °С [75].

Аноды изготавливают из сплава свинца, сурьмы и олова при следующем соотношении: 92–95 % свинца, 0,5 % сурьмы и 5–8 % олова. Площадь выбирают в 2–2,5 раза больше площади катода.

Для использования электролита необходимо, чтобы он стабилизировался до 8 часов для нормализации его температуры и выпадения в осадок сульфата кальция (образование донной фазы). Затем в течение 6–10 часов необходима проработка электролита с целью образования необходимого количества трёхвалентного хрома, в количестве не менее 2–11 г/л для обеспечения устойчивой работы электролита. Проработка электролита осуществляется при плотности тока $D_k = 75\text{--}200$ А/дм².

Таким образом, представлены рекомендации по проведению хромирования при использовании для упрочнения и восстановления деталей автомобилей и машин. Использование существующих рекомендаций не может обеспечить достаточного качества получаемых покрытий. Поэтому возникла необходимость разработки рекомендаций, позволяющих использовать разработанный электролит с заявленной производительностью и качеством покрытий.

В результате приведённых исследований разработаны необходимые рекомендации по производственному использованию разработанного электролита. Это позволит использовать его в условиях машиностроительных предприятий с целью упрочнения и восстановления деталей машин, при которых получают ка-

чественные покрытия с высокими физико-механическими свойствами.

Соблюдение данных рекомендаций носит обязательный характер для разработанного холодного саморегулирующегося электролита и поможет гальваникам проводить работы с минимальным браком и максимальной производительностью.

15. РАЗРАБОТКА ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ХРОМИРОВАНИЕМ

Для практического использования результатов исследований, проведенных в диссертационной работе, возникла необходимость выполнить разработку типового технологического процесса восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании с использованием разработанного ХСЭХ [44, 152]. Данные по рекомендованному составу представлены в выводах, в подпункте 14.

При проведении исследований, результаты которых показаны в Главе 4, доказано, что хромовые покрытия, получаемые из разработанного электролита, обладают высокими физико-механическими свойствами при высокой производительности получения хромовых покрытий. Поэтому разработка технологии восстановления для практического использования на ремонтных предприятиях имеет важное технико-экономическое обоснование.

Полученные результаты позволяют рекомендовать к применению данный электролит при восстановлении и упрочнении деталей автомобилей, подвергающихся в процессе работы воздействию больших знакопеременных нагрузок, низких и высоких температур, а также коррозионно-активной среды.

Для внедрения данного электролита в производство необходимо разработать типовой технологический процесс и рекомендации, соблюдение которых позволит обеспечить высокий уровень технологической надёжности и осаждение качественных покрытий с заданными физико-механическими свойствами.

При разработке типового технологического процесса и производственных рекомендаций нами использовался опыт полученных результатов исследований и разработок в организации ремонтного производства при использовании технологии нанесения хромовых покрытий из разработанного электролита [75, 99, 101, 110, 120, 124, 127].

Электролитическое хромирование является одним из способов гальванического производства, который используется для осаждения покрытия с необходимыми свойствами. Для этого требуется выполнение целого ряда операций в определённой технологической последовательности в зависимости от состава электролита и требований, предъявляемых к наносимому покрытию.

Для обеспечения высокой прочности сцепления перед нанесением хромовых покрытий необходимо проводить тщательное химическое или электрохимическое обезжиривание, исключая остатки жировых и других отложений, а также электрохимическое травление, обеспечивающее качественное удаление с покрываемой поверхности окисной плёнки и формирование защитной (предохранительной) от окисления плёнки поверхности при выполнении межоперационных промывок.

На основании исследований было установлено, что для обеспечения высокой адгезионной прочности сцепления с поверхностью покрываемой поверхности наиболее рационально использовать электрохимическое травление в электролите из 30%-й серной кислоты и 15 г/л сульфата железа. Режимы травления зависят от химического состава и способа упрочнения детали. Нами было установлено, что анодную обработку хромируемой поверхности стальных деталей следует проводить при анодной плотности тока $D_a = 60 \dots 150$ А/дм², в течение 1,5–2 минут, при рабочей температуре электролита 20 ± 2 °С. При этом травление деталей автомобилей, изготовленных из высокоуглеродистых сталей, а также подверженных химико-термической обработке и поверхностно-пластическому деформированию, следует проводить при более высокой плотности тока, так, чтобы поверхность приобрела равномерный светло-серый или матовый цвет без видимых черных и блестящих пятен [75].

Известно, что на прочность сцепления покрытий не в меньшей степени влияют следующие факторы: последующее после травления и промывки анодное активирование в основном электролите хромирования и начальные условия осаждения покрытий. Также установлено, что пассивная защитная пленка успешно удаляется в разработанном электролите хромирования при анодной плотности тока $D_a = 50 \dots 60 \text{ А/дм}^2$ в течение 30–50 секунд [160].

Хромирование осуществляется при $D_k = 75 \dots 200 \text{ А/дм}^2$ в зависимости от технических требований на каждую конкретную деталь. Осаждение покрытия следует начинать при катодной плотности тока в 1,5–2 раза больше оптимальной в течение 1,5–2 минут с плавным снижением до рабочей плотности тока.

Кроме того, установлено, что в процессе электролиза рабочая температура электролита хромирования должна находиться в пределах 18–35 °С. Отклонение от установленных значений приводит к существенному снижению качества покрытий. Для этого необходимо, чтобы объёмная плотность находилась в пределах 1,5–2 А/л. При этих условиях, как показали наши исследования, исключается полностью необходимость охлаждения электролита. Исходя из этих условий, можно легко рассчитать объём ванны для электролитического хромирования, применительно к конкретным условиям производства. Данные результаты, полученные в процессе исследований, и их обобщения легли в основу разработки типового технологического процесса хромирования деталей при стационарных условиях электролиза.

Разработка типового технологического процесса выполнялась на основе результатов исследований и рекомендаций для нанесения качественных покрытий из разработанного электролита в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1129-93, стандартов ЕСКД и ЕСТД, а также с учетом дополнений, разъяснений и ограничений, изложенных в руководящих технических материалах и отраслевых стандартах [75].

В основу разработки типового технологического процесса хромирования деталей при восстановлении деталей автомобилей были положены результаты исследований, выполненные в соответствии с диссертационными исследованиями по разработке холодного, более стабильного, саморегулирующегося электролита

хромирования, обеспечивающего осаждение качественных покрытий с высокими физико-механическими свойствами в достаточно широком диапазоне температур электролита.

Исходя из технологических особенностей процесса нанесения хромовых покрытий из разработанного электролита, типовой технологический процесс хромирования будет содержать следующие необходимые технологические операции:

- моечная;
- дефектовочная;
- шлифовальная;
- монтажная;
- электрохимическое обезжиривание;
- промывочная (в горячей, а затем холодной воде);
- электрохимическое травление;
- промывочная (в холодной воде);
- хромирование (активирование с последующим хромированием);
- промывочная (в ванне улавливания, а затем в холодной воде);
- демонтажная (демонтаж деталей с подвесного устройства);
- сушильная;
- контрольная;
- шлифовальная (доводочная);
- моечная;
- контрольная.

При выполнении технологических операций используется соответствующее оборудование, необходимая технологическая оснастка, инструменты, приборы и материалы. Также имеется описание операций и оборудования для каждой операции. При этом могут быть использованы другие модели оборудования при условии соблюдения требований ТУ и ГОСТ. Подробное описание операций технологического процесса приведено в приложении (см. прил. Б).

Корректировку и контроль ванны хромирования осуществляют согласно данным исследований, приведенным в подпункте 4.1.

Разработанный типовой технологический процесс восстановления детали хромированием с использованием предложенного

электролита на примере золотников гидрораспределителей Р-80 З/1-444 показан в приложении (см. прил. Б).

Для подтверждения полученных результатов лабораторных испытаний, необходимо было провести эксплуатационную проверку деталей, покрытых хромом по разработанной технологии, чтобы подтвердить целесообразность использования её в производстве.

С этой целью был выбран наиболее распространённый и наиболее нагруженный агрегат гидропривода – гидрораспределитель, используемый на автомобилях предприятий Приднестровья. Для этого предварительно из МУП «КоммуналДорСервис» г. Бендеры, Приднестровье, были взяты три неисправных гидрораспределителя модели Р-80 З/1-444, произведена их разборка, мойка и дефектация основных базовых деталей, а именно золотников и корпуса. На основании дефектации были сделаны выводы, что износ золотниковой пары превышает предельный, распределители непригодны к дальнейшей эксплуатации и требуют ремонта.

Для этого на специализированном предприятии по ремонту гидроагрегатов в ООО «Autehreparatie», была произведена предварительная подготовка золотниковой пары к восстановлению, а именно, произведено хонингование отверстий корпуса и шлифование поясков золотников с шероховатостью $Ra = 0,32...0,63$ мм до выведения следов износа.

Для приготовления электролита хромирования использовались химические реактивы квалификации ХЧ. Пересчитанное количество компонентов, согласно разработанному составу электролита, следующее: хромовый ангидрит – 2,78 кг, углекислый кальций – 0,45 кг, сульфат кобальта 7-водного – 0,09 кг, сульфат никеля семи водного – 0,09 кг, плавиковая кислота – 0,0076 кг. Электролит после приготовления настаивался 8–10 часов, для стабилизации состава по объёму и температуре раствора до 18–20 °С, плотность раствора при этом составляла 1,306–1,310 г/см³. Далее прорабатывался в течение 8–10 часов для выделения необходимого количества Cr^{3+} (2...15 г/л) [75].

Внешний вид подготовленных для хромирования и покрытых хромом золотников показан на рис. 50.



Рис. 50. Внешний вид золотников: *а* – подготовленных для хромирования, *б* – покрытых хромом

Для осуществления процесса хромирования золотников была изготовлена универсальная, одностая подвеска (рис. 51), которая может быть использована при хромировании золотников различных гидрораспределителей и гидроусилителей с диаметром от 23 до 40 мм.

Перед началом восстановления золотников был произведен микрометраж размеров изношенных поверхностей, которые необходимо восстановить хромом.

Микрометраж проводился с помощью микрометра МК 0-25 ГОСТ 868-80 в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 52 и табл. 8)

После того, как золотник был установлен и закреплен на подвеску, были проведены работы по изоляции поверхности, которая не будет покрываться хромом, для этого использовалась изоляционная лента ПВХ.

Нанесение покрытий проводили в ванне с объёмом электролита 9 л (согласно рекомендациям подпункта 14).

Результаты микрометража золотников

№ золотника	Плоскость измерения	Номер пояска					
		1	2	3	4	5	6
1	А-А	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01	25,00
	Б-Б	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01	25,00
2	А-А	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01
	Б-Б	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
3	А-А	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	Б-Б	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
4	А-А	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98
	Б-Б	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99
5	А-А	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98
	Б-Б	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99
6	А-А	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95
	Б-Б	24,97	24,97	24,97	24,97	24,97	24,97

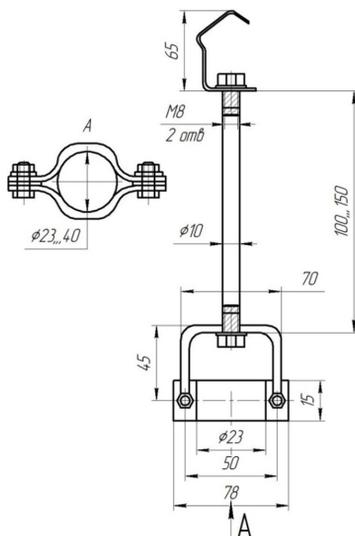


Рис. 51. Подвеска для хромирования золотников

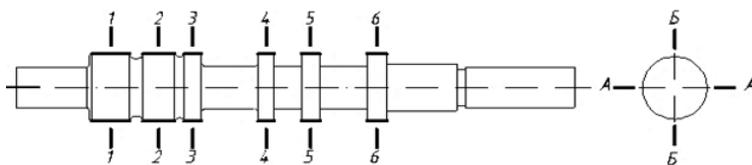


Рис. 52. Схема микрометра изношенных золотников

Для приготовления электролита травления использовался водный раствор 30%-й серной кислоты (365 г/л) с добавлением 15–20 г/л сульфата железа, плотность раствора была в пределах 1,21–1,22 г/см³ при температуре 20 °С [75].

Для проведения обезжиривания поверхности использовалась «Венская» известь, которая состояла из 50 % оксида кальция и 50 % оксида магния. В смесь добавлялась дистиллированная вода и 5 % к количеству оксида магния и кальция калиевой щёлочи. После обезжиривания золотники промывали горячей, холодной дистиллированной водой с последующей промывкой [75].

Процесс нанесения покрытия проводился при следующих режимах: электролитическое травление проводили при $D_a = 150$ А/дм², температуре электролита 20 °С в течение 1,5–2 минут [75].

Декапирование $D_a = 80$ А/дм² в течение 45 секунд, хромирование $D_k = 100$ А/дм² при температуре электролита от 20 до 32 °С в течение 75–80 минут, при этих условиях толщина наносимого покрытия составляла 0,35–0,4 мм [75].

После хромирования производилась предварительная промывка в ванне с дистиллированной водой, а после удаления изоляционной ленты с непокрываемых поверхностей золотники тщательно промывали в проточной воде.

Для удаления атомарного водорода из хромовых покрытий золотники подвергали сушке в муфельной печи собственного изготовления при температуре 200–220 °С в течение 1–1,5 часов. Необходимость сушки хромированных золотников вызвана тем, что в процессе электролиза наряду с восстановлением ионов хрома восстанавливаются ионы водорода, что способствует одновременному формированию покрытий с ОЦК и метастабильной ГПУ кристаллической решеткой, которые со временем переходят в ОЦК решетку. Нагрев ускоряет процесс экстрагирования атомар-

ного водорода, который может находиться в слое хрома и способствовать образованию трещин и пор, если его не удалить [75].

После просушки золотников проводился микрометраж для определения необходимой механической обработки. Микрометраж золотников после покрытия хромом осуществлялся по той же схеме, что и микрометраж изношенных (рис. 52). Результаты представлены в табл. 9.

Таблица 9

Результаты микрометража покрытых золотников

№ золотника	Плоскость измерения	Номер пояска					
		1	2	3	4	5	6
1	А-А	25,62	25,62	25,62	25,62	25,62	25,61
	Б-Б	25,62	25,62	25,62	25,62	25,62	25,61
2	А-А	25,63	25,63	25,63	25,62	25,62	25,62
	Б-Б	25,63	25,63	25,63	25,62	25,62	25,62
3	А-А	25,63	25,64	25,64	25,64	25,64	25,62
	Б-Б	25,54	25,54	25,54	25,54	25,54	25,53
4	А-А	25,52	25,52	25,53	25,52	25,52	25,52
	Б-Б	25,53	25,53	25,53	25,52	25,52	25,52
5	А-А	25,52	25,53	25,52	25,52	25,53	25,52
	Б-Б	25,53	25,53	25,52	25,52	25,53	25,52
6	А-А	25,52	25,54	25,53	25,50	25,52	25,56
	Б-Б	25,55	25,55	25,54	25,54	25,54	25,53

После хромирования золотники подвергались дальнейшей механической обработке – шлифованию и притирке к соответствующим посадочным местам в корпусах гидрораспределителей после соответствующего комплектования по размерным группам. По результатам шлифования была произведена оценка качества обработки, при этом сколы и отслаивание не выявлены, что подтвердило целесообразность использования разработанной технологии с использованием ХСЭХ при восстановлении деталей автомобилей, которые работают при гидроабразивном изнашивании, в частности золотников, плунжеров и др.

Описание технологического процесса хромирования золотников по операциям дано ниже. Технологическая документация представлена в приложении (см. прил. Б).

005 Моечная

Поступившие на участок мойки детали промываются в ванне ОМ-9313 с целью удаления смазки консервации и других загрязнений, где в качестве моющего средства используется синтетическое средство «Лабомид-203», МС-8 или другие в зависимости от типа загрязнения и материала детали с концентрацией 20–30 г/л и при температуре раствора 80–90 °С

010 Дефектовочная (для деталей, подлежащих восстановлению)

Операция необходима для выявления соответствия детали техническим требованиям на дефектацию и в частности, для определения величины износа и маршрута восстановления.

При наличии на подлежащей к покрытию поверхности детали: сколов, трещин, царапин глубиной более 0,3 мм и с износом более 0,7 мм, – восстановление электролитическим хромированием не производится.

015 Шлифовальная

Операция предназначена для подготовки поверхности вала к хромированию, с целью удаления дефектного слоя металла и восстановления геометрической формы (при восстановлении) детали, а также придания поверхности необходимой шероховатости. Согласно нашим данным, поверхности, подлежащие покрытию, после шлифования должны иметь шероховатость $Ra = 0,32 \dots 0,63$ мкм. При этих условиях снижается припуск на последующую обработку и обеспечивается формирование более равномерных качественных хромовых покрытий, а также уменьшится износ режущего инструмента (круга) во время обработки хромируемой поверхности. Для обработки покрываемой поверхности рекомендуется использовать как круглошлифовальные, так и бесцентрово-шлифовальные станки, или хонинговальные, исходя из конструкторско-технологических характеристик покрываемой детали с использованием СОЖ.

Режимы обработки, тип абразивного инструмента, зернистость структуры – зависят от материала, качества поверхности

детали и т. п., устанавливаются в соответствии с действующими на предприятии технологическими процессами, или выбираются по рекомендациям [75].

020 Монтажная

Операция предназначена для закрепления детали в подвесном устройстве для хромирования и изоляции мест, не подлежащих хромированию на восстанавливаемой или упрочняемой детали.

Поверхности деталей, не подлежащие покрытию, изолируют, т. е. защищают специальным диэлектрическим материалом от осаждения на них металла. Изоляция позволяет сохранить геометрические размеры непокрываемых участков деталей, уменьшает непроизводительные потери электрической энергии, осаждаемого металла, а также защищает их от коррозии.

К материалам предъявляют следующие требования: материал должен быть химически устойчивым к длительному действию на него того или иного электролита; он не должен растворяться в электролите и засорять его продуктами растворения; изоляционный слой в процессе электролиза не должен пробиваться электрическим током, становиться пористым или хрупким; после нанесения покрытий изоляция должна быстро и легко сниматься с детали, при этом материал должен быть дешевым.

Изоляцию выполняют с помощью постоянных изоляторов (часть подвесного приспособления) или различными изоляционными материалами. Изоляторами могут служить съемные футляры, коробки, трубки, шайбы, изготовленные по форме защищаемой поверхности из эбонита, винипласта, фарфора и других электроизоляционных химически стойких материалов.

В качестве изоляционных материалов можно применять тонкую кислотоустойчивую резину, листовой целлулоид, полихлорвиниловую изоляционную ленту, пленочные полимерные материалы (полихлорвиниловые пластикаты, фторопласт-4), перхлорвиниловую эмаль ПХВ-715 на растворителе № 646, смесь цапон-лака (раствор целлулоида в ацетоне) и нитрокраски в отношении 1:2, церезин, пластизол.

Детали несложной формы удобно изолировать пленочными материалами, которыми плотно обертывают защищаемые места.

Лакокрасочные изоляционные материалы можно наносить на детали пульверизатором или кистью (2–3 слоя) с промежуточной сушкой каждого слоя. или погружением деталей в жидкий изоляционный материал.

При этом устройство навески деталей должно обеспечивать надежный контакт и равномерное распределение тока между покрываемыми деталями.

025 Электрохимическое обезжиривание

Цель обезжиривания – удаление с покрываемой поверхности жировых и других загрязнений. Сущность его заключается в том, что изделия, погруженные в водный щелочной раствор, подключаются к источнику электрического тока в качестве катода или анода. При этом в процессе электролиза на поверхности электродов бурно выделяются пузырьки газа (водород на катоде, кислород на аноде), которые облегчают механическое разрушение и удаление жировых загрязнений с очищаемой поверхности. В результате этого в несколько раз ускоряется процесс обезжиривания.

Раствор для обезжиривания: каустическая сода NaOH – 50 г/л, тринатрийфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ – 20 г/л, кальцинированная сода Na_2CO_3 – 50 г/л при плотности тока $D_a = 10 \dots 12 \text{ А/дм}^2$; температура электролита $t = 60 \dots 80 \text{ }^\circ\text{C}$; продолжительность обезжиривания $T_o = 10 \dots 15 \text{ мин.}$

030 Промывочная

Операция необходима для промывки покрываемой детали от остатков электролита обезжиривания. Операция проводится в горячей воде при температуре $60 \dots 70 \text{ }^\circ\text{C}$, а затем в холодной воде (ГОСТ Р 58144-2018)

Обезжиривание выполнено качественно, если вода равномерно растекается и смачивает всю поверхность детали, а не собирается каплями.

035 Электрохимическое травление

Операция предназначена для подготовки поверхности к хромированию с целью удаления окисной пленки для лучшего сцепления хрома с материалом детали.

При проведении исследований выявлено, что для анодного травления чёрных металлов целесообразно использовать простой

по составу и надёжный в работе электролит с содержанием 365 г/л серной кислоты (30%-й раствор) и 10...20 г/л сернокислого железа ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) плотностью 1,23 г/см³ и температурой 18...25°C. Катодами служат свинцовые пластины, площадь которых в 4–5 раз больше площади покрываемых поверхностей деталей. Стальные изделия обрабатывают при анодной плотности тока 50...70 А/дм² в течение 2–3 минут, а чугунные – при 18...20 А/дм² в течение 1,5–2 минут.

Анодное травление деталей, которые подвергаются закалке с нагревом ТВЧ, следует проводить при плотности тока 130...180 А/дм² в течение 1,5–2 минут. При данных режимах через некоторое время после начала травления напряжение на ванне повышается, а сила тока снижается. Это объясняется переходом металла из активного состояния в пассивное (пассивирование поверхности) и сопровождается бурным выделением кислорода. Пузырьки кислорода срывают травильный шлак, и обрабатываемая поверхность становится чистой, с отчетливо выявленной кристаллической структурой и специфическим микрорельефом.

Качество обработки контролируется визуально: для качественно протравленных деталей характерна светло-серая матовая поверхность без блеска, темных пятен и следов травильного шлама.

040 Промывочная

Операция предназначена для удаления с детали и подвесного устройства остатков электролита травления после электрохимического травления, с целью недопущения его попадания в ванну хромирования. Промывку необходимо проводить в холодной воде.

045 Хромирование

Операция предназначена для покрытия поверхности детали необходимой толщиной хрома с целью улучшения технико-эксплуатационных качеств детали или восстановления изношенной поверхности детали.

При использовании для хромирования разработанного электролита целесообразно проводить электрохимическую активацию в рабочей ванне с целью удаления с поверхности пассивной пленки.

Экспериментально в работе установлено, что наибольшая прочность сцепления хромового покрытия со стальными деталями при активировании достигается при анодной плотности тока 80...100 А/дм² и в течение 30–60 секунд последующим «толчком тока» ($D_k = 150...180$ А/дм²) в течение 60–90 секунд при рабочей температуре электролита 18...35 °С.

Рекомендуется использовать электролит хромирования следующего состава, в г/л: хромовый ангидрит – 420, карбонат кальция – 50, сульфат кобальта 7-водного – 10, сульфат никеля 7-водного – 10, плавиковая кислота – 0,8.

Количество электролита необходимо приготавливать из расчёта объёмной плотности тока $D_k = 1,5...2,0$ А/л раствора электролита с целью исключения нагрева электролита до температуры выше 35 °С или снижения нагрузки на систему охлаждения электролита.

Аноды изготавливают из сплава свинца, сурьмы и олова при следующем соотношении: 92–95 % свинца, 0,5 % сурьмы и 5–8 % олова. Площадь анода должна быть в 3–4 раза больше площади катода для стабильной работы ванны хромирования и поддержания необходимого стабильного количества Cr^{3+} в пределах 2...15 г/л. Режим осаждения хрома: $D_k = 75...200$ А/дм², $t_{эл} = 18...35$ °С.

Необходимую толщину покрытия вычисляли по формуле (16).

Припуск на последующую механическую обработку принимаем 0,05...0,20 мм на диаметр, в зависимости от толщины и равномерности осаждаемого покрытия.

Для расчёта нормы основного времени можно провести с учётом рекомендаций использования нового состава электролита.

Основное время нанесения электролитического хрома рассчитывается по формуле (17).

Так как хромовый электролит обладает высоким сопротивлением, то расстояние между анодами и деталями принимают небольшим (30...50 мм). Расстояние деталей от дна ванны должно быть не менее 100...150 мм, а от верхнего уровня электролита – 50...80 мм.

050 Промывочная

Операция предназначена для промывки детали с подвесным устройством в ванне улавливания и холодной проточной дистиллированной воде.

Для исключения попадания в канализационную систему электролита и снижения потерь дорогостоящих реактивов, связанных с уносом электролита деталями и подвесками (унос составляет 50...250 мл раствора на 1 м² покрываемой поверхности), необходимо первую промывку после наращивания хрома проводить в ванне для улавливания электролита заполненной чистой дистиллированной водой, образующийся при этом раствор используют для пополнения уровня электролита.

Последующая промывка осуществляется в холодной проточной воде с оборотным водопотреблением. Влагу с поверхности деталей (после промывки) удаляют обдувкой сжатым воздухом в течение 1–3 минут или в сушильном шкафу при 50...110 °С в течение 5–10 минут.

055 Демонтажная

Операция предназначена для снятия хромированных деталей с подвески, очистки от изоляции и лака поверхностей детали, которые не покрывались хромом.

060 Сушильная

Операция предназначена для сушки деталей с целью удаления из хромированной поверхности водорода и улучшения физико-механических свойств покрытия. Процесс необходимо проводить в сушильном шкафу при температуре 200±15 °С, в течение 1...1,2 часа.

065 Контрольная

Операция необходима для проверки качества покрытий, проверки наличия трещин, сколов, питтинга, отслоения покрытия, диндритов и т. п.

070 Шлифовальная

Операция предназначена для окончательной обработки поверхности детали после хромирования с целью придания поверхности необходимой шероховатости, формы и размера, с соблюдением ТУ и ГОСТ на упрочнение или восстановление детали.

Детали, восстановленные электролитическим хромированием, целесообразно обрабатывать шлифованием. Исходя из опыта, хорошее качество обработки достигается при использовании кругов из электрокорунда белого на керамической связке зернистостью 25...40 средне-мягкой твердости (типа 24A25CM2K, 34A40CM2K). Скорость вращения круга 25...35 м/с, а детали 25...60 м/мин, глубина шлифования (поперечная подача) до 0,012 мм, при продольной подаче 0,1...0,3 мм ширины круга и обильном охлаждении с использованием СОЖ (не менее 10 л/мин).

075 Моечная

Поступившие на участок мойки детали промываются в ванне ОМ-9313 с целью удаления стружки и других технологических загрязнений после шлифования, где в качестве средства используется синтетическое моющее средство «Лабомид-203», или другие в зависимости от типа загрязнения и материала детали, при концентрации 20–30 г/л и температуре раствора 80...90 °С.

080 Контрольная

Операция предназначена для контроля размеров, формы и шероховатости, параметры которых регламентированы техническими требованиями и условиями эксплуатации детали.

Необходимое оборудование: верстак слесарный ОРГ-1468-001, микрометр гладкий МК ГОСТ 868-80.

16. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗОЛОТНИКА ХРОМИРОВАНИЕМ

С целью обобщения результатов расчёта технико-экономической эффективности восстановления деталей автомобилей электролитическими способами целесообразно производить относительную оценку на 1 дм² покрываемой площади, так как подбор необходимого объёма ванны, приготовление раствора электролита, выбор режимов электролиза производится в зависимости от покрываемой площади поверхности, что, в свою очередь, зависит от количества одновременно загружаемых деталей. Количество

деталей зависит от объёма производства восстановления деталей автомобилей.

Согласно рекомендациям, использование разработанной технологии восстановления с помощью нового состава электролита выбираем для технико-экономического расчёта ремонта золотника гидрораспределителя Р-80 З/1-444, который подвержен гидроабразивному изнашиванию. Согласно данным предприятий Приднестровья, использующих гидрораспределители Р-80 З/1-444, при отказе их не ремонтируют, а заменяют новыми. Это приводит к повышению стоимости эксплуатации автомобилей в целом, что увеличивает себестоимость транспортной работы. Поэтому при расчётах будем производить сравнение традиционной технологии восстановления золотников с разработанной. При этом также произведём сравнение затрат на ремонт со стоимостью новых золотников с целью обоснования целесообразности использования разработанной технологии.

Согласно результатам проведённых исследований, предельный износ, при котором золотник необходимо восстановить или заменить новым, составляет 0,02...0,05 мм. Поэтому выбираем площадь поверхности 0,16 дм² одного золотника его рабочих поясков, которые подвержены изнашиванию и которые необходимо восстановить до номинальных размеров с целью восстановления работоспособности гидрораспределителя в целом. С целью упрощения расчёта будем производить расчёт на 1 дм², из соображений одновременного восстановления шести золотников на одной навеске для двух гидрораспределителей одновременно. Далее произведём перерасчёт для одного золотника.

После восстановления золотника необходимо произвести притирку золотника с корпусом гидрораспределителя (золотниковая пара).

Окончательный вывод о целесообразности широкого внедрения в ремонтное производство процесса восстановления золотников гидрораспределителей автомобилей хромированием разработанным способом (существующим и предлагаемым) можно сделать только после определения его экономической эффективности.

Годовой экономический эффект процесса электролиза без учёта эксплуатационных издержек определяется по формуле [99]:

$$\Xi = [(C_y + E_n \cdot K_y) \cdot \alpha - (C_x + E_n \cdot K_x)] \cdot A, \quad (19)$$

где C_y , C_x – себестоимость восстановления 1 дм² поверхности при хромировании в универсальном или холодном саморегулирующемся электролите, у.е. (1 у.е. = 4 руб. РФ); E_n – нормативный коэффициент эффективности для ремонтных предприятий ($E_n = 0,12$); α – коэффициент повышения качества ($\alpha = 1$); A – программа ремонта в единицах покрываемой поверхности, дм²; K_y , K_x – удельные капиталовложения, соответственно при хромировании в универсальном и холодном электролитах, у.е./м².

Расчеты показывают, что капитальные затраты на организацию участка хромирования в универсальном электролите на площадь 1000 дм² покрываемой поверхности составляют 14368 у.е. Себестоимость хромирования 1 дм² поверхности C_y (без учёта механической обработки) равна 350 у.е.

Организация такого участка хромирования в холодном саморегулирующемся электролите требует капитальных затрат 16484 у.е. При этом в таких же условиях работы гальванического участка можно будет покрывать поверхность при использовании нового электролита 7500 м² в год.

$$K_y = 143,63 \text{ у.е./м}^2;$$

$$K_x = 13,20 \text{ у.е./м}^2.$$

Анализ структуры себестоимости хромирования в универсальном и холодном электролитах показал, что все элементы ее в обоих случаях практически равны, исключая затраты на электроэнергию, расходы на химреактивы и заработную плату. Исходя из этого, себестоимость холодного хромирования определяется на основании себестоимости хромирования в универсальном электролите с учетом стоимости потребляемой (в обоих случаях) электроэнергии, химреактивов и заработной платы [5].

Стоимость электроэнергии определяется по формулам:

1) при хромировании в универсальном электролите:

$$C_{y1} = (Q_n + Q_{\varepsilon_1}) \cdot C_{\varepsilon}; \quad (20)$$

2) при хромировании в холодном электролите с добавкой сульфата кобальта или никеля:

$$C_{x2} = (Q_0 + Q_{э2}) \cdot C_{э}, \quad (21)$$

где Q_n , Q_0 – расход электроэнергии на нагрев, охлаждение, а также на поддержание установленной температуры электролита при хромировании 1 дм^2 на толщину δ , в кВт·ч; $Q_{э1}$, $Q_{э2}$ – расход электроэнергии на восстановление катодной поверхности, соответственно, при хромировании в универсальном и из разработанного электролита на толщину δ , кВт·ч; $C_{э}$ – себестоимость $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии, (0,89 у.е./1 кВт).

Известно, что у большинства золотников гидрораспределителей, используемых на специальных автомобилях значение износа находится в пределах от 0,02 до 0,05 мм, поэтому в качестве расчетной принята толщина покрытия, равная 0,2 мм, в которой есть достаточный припуск на последующую механическую обработку и притирку с корпусом гидрораспределителя.

Мощность электронагревателей для разогрева электролита до рабочей температуры определяется из расчета кВт на каждые 10 л его объема (при двухчасовом разогреве). Для поддержания рабочей температуры электролита требуется 40–50 % этой мощности. Исходя из этого и учитывая применяемые на практике нормы загрузки ванны и режимы хромирования в универсальном электролите, для нагрева и поддержания температуры электролита при хромировании 1 дм^2 поверхности на толщину 0,2 мм требуется около 1,80 кВт·ч электроэнергии, а при хромировании из разработанного электролита 0,40 кВт·ч.

Расход электроэнергии на электролиз определяется по формуле:

$$Q_{э} = \frac{U \cdot I \cdot t}{1000 \cdot \eta_u} = \frac{100 \cdot U \cdot \delta \cdot \gamma \cdot S}{C \cdot \eta \cdot \eta_u} \quad (22)$$

где U – напряжение источника тока, В; I – сила тока в цепи, А; t – продолжительность электролиза, час; γ – удельный вес хрома ($\gamma = 6,9 \text{ г/см}^3$); δ – толщина покрытия, мм; C – электрохимический эквивалент хрома, 0,324 (г/А·ч) S – площадь поверхности, под-

лежащей покрытию, дм_2 ; η – выход хрома по току, %; η_u – КПД источника тока, $\eta_u = 0,7$.

Напряжение применяемых источников тока в нашем случае равно 12 В.

Исследования показали, что хромирование в холодном электролите значительно отличается от существующего способа выходом хрома по току, который характеризует экономичность процесса. Так, в универсальном электролите выход хрома по току составляет всего 8–16 % (среднее значение 12 %), а в холодном саморегулирующемся электролите – $47,5 \pm 2,5$ % (среднее значение 47,5 %)

Подставляя соответствующие значения в формулу 5.4, получим:

$$Q_{\text{Э}1} = 6,10 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$Q_{\text{Э}2} = 1,83 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Тогда стоимость электроэнергии, израсходованной на 1 дм^2 покрываемой поверхности, составит:

1) при хромировании в универсальном электролите:

$$C_{y1} = (1,80 + 6,10) \cdot 0,89 = 7,03 \text{ у.е.};$$

2) при хромировании из разработанного электролита:

$$C_{y2} = (0,40 + 1,83) \cdot 0,89 = 1,98 \text{ у.е.}$$

Стоимость материалов на 1 дм^2 покрываемой поверхности рассчитывается по формуле:

$$C_n = \sum C_k \cdot g_k \cdot K, \quad (23)$$

где C_k – стоимость 1 кг компонента электролита, у.е.; g_k – расход компонента в $\text{кг}/\text{дм}^2$ (покрываемой поверхности); K – нормативный коэффициент, учитывающий наценку на стоимость единицы материала ($K = 1,1$) [5].

Для нанесения покрытия площадью поверхности $S = 1 \text{ дм}^2$ на толщину 0,2 мм необходимо затратить:

а) при хромировании в универсальном электролите

$$g_k(\text{CrO}_3) = 0,0305 \text{ кг}/\text{дм}^2 \cdot C_k = 85 \text{ у.е.}/\text{кг},$$

$$g_k(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,00003 \text{ кг}/\text{дм}^2 \cdot C_k = 50 \text{ у.е.}/\text{кг},$$

тогда $C_{n1} = (0,0305 \cdot 85 + 0,00003 \cdot 50) \cdot 1,1 = 2,85 \text{ у.е.}/\text{дм}^2$;

б) при хромировании из разработанного электролита:

$$g_k \text{CrO}_3 = 0,0305 \text{ кг}/\text{дм}^2 \cdot C_k = 85 \text{ у.е.}/\text{кг},$$

$g_{\text{к}} \text{CaCO}_3 = 0,001 \text{ кг/дм}^2 \cdot C_{\text{к}} = 16,25 \text{ у.е./кг},$
 $g_{\text{к}} \text{NiSO}_4 = 0,00015 \text{ кг/дм}^2 \cdot C_{\text{к}} = 97 \text{ у.е./кг},$
 $g_{\text{к}} \text{CoSO}_4 = 0,00015 \text{ кг/дм}^2 \cdot C_{\text{к}} = 540 \text{ у.е./кг},$
 $g_{\text{к}} \text{HF} = 0,000012 \text{ кг/дм}^2 \cdot C_{\text{к}} = 160 \text{ у.е./кг},$
 тогда $C_{\text{н2}} = (0,0305 \cdot 85 + 0,001 \cdot 16,25 + 0,00015 \cdot 97 + 0,00015 \cdot 540 + 0,000012 \cdot 10) \cdot 1,1 = 2,97 \text{ у.е./дм}^2.$

Как отмечалось ранее, наблюдается существенная разница в оплате труда обслуживающего персонала, работающего по действующей технологии и предлагаемой нами. Зарботную плату можно определить по следующей формуле:

$$Z_{\text{п}} = T \cdot C_{\text{т}}, \quad (24)$$

где T – затраты труда для нанесения покрытия площадью $S = 1 \text{ дм}^2$ и толщиной $\delta = 0,2 \text{ мм}$, в чел-час.

При этом
$$T = t_{\text{м}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (25)$$

где $t_{\text{м}}$ – норма времени на покрытие 1 дм^2 поверхности; $K_{\text{п}}$ – коэффициент использования рабочего времени.

$$t_{\text{м}} = \frac{(t_0 + \sum t_{\text{вп}}) \cdot \eta_{\text{пз}} + \sum t_{\text{д}}}{S \cdot \eta_{\text{и}}}, \quad (26)$$

где t_0 – основное время электролиза, мин

$$t_0 = \frac{60000 \cdot \gamma \cdot \delta}{C \cdot D_{\text{к}} \cdot \eta}, \text{ мин} \quad (27)$$

где γ – удельный вес осаждённого хрома; δ – толщина покрытия, мм; C – электрохимический эквивалент осаждаемого металла, г/А-ч; η – выход хрома по току, %; $\sum t_{\text{вп}}$ – сумма вспомогательного неперекрываемого времени (на декапирование, травление и др.); $\eta_{\text{пз}}$ – коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное время; $\sum t_{\text{д}}$ – дополнительное время (на очистку анодов, корректировку электролита и др.), мин; S – площадь поверхности, покрываемой в одном электролизёре, дм^2 ; $\eta_{\text{и}}$ – коэффициент использования электролизёра; $C_{\text{т}}$ – тарифная ставка заработной платы работника (гальванические работы оцениваются по 4 разряду в Приднестровье), $C_{\text{т}} = 50 \text{ у.е./час}$.

Тогда:

а) при хромировании в универсальном электролите:

$$t_{o1} = 425 \text{ мин,}$$

$$T_1 = t_{m1} \cdot K_{p1} = 850 \text{ мин/дм}^2 \quad (28)$$

$$T_1 = 14 \text{ чел-ч/дм}^2$$

б) при хромировании из разработанного электролита:

$$t_{o2} = 51,1 \text{ мин}$$

$$T_2 = t_{m2} \cdot K_{p2} = 102,2 \text{ мин/дм}^2 \quad (29)$$

$$T_2 = 1,70 \text{ чел-ч/дм}^2.$$

Следовательно:

$$З_{п1} = T_1 \cdot C_T = 14 \cdot 50 = 700 \text{ у.е.};$$

$$З_{п2} = T_2 \cdot C_T = 1,7 \cdot 50 = 85 \text{ у.е.}$$

В итоге:

Себестоимость способа в универсальном электролите:

$$C_{x1} = C_{y1} + C_{n1} + З_{п3} = 7,03 + 2,85 + 700 = 709,88 \text{ у.е.} \quad (30)$$

А себестоимость нового способа хромирования поверхности площадью 1 дм² на толщину 0,2 мм из разработанного электролита составляет:

$$C_{x2} = C_{x1} - [(C_{y1} - C_{y2}) + (C_{m1} - C_{m2}) + (З_{п1} - З_{п2})] = 709,88 - [(7,03 - 1,98) + (2,85 - 2,97) + (709,88 - 85)] = 80,07 \text{ у.е.} \quad (5.13)$$

Благодаря полученным данным при расчёте трудоёмкости восстановления с помощью ХСЭХ можно определить суммарную площадь поверхности (N, дм²), подлежащую хромированию из разработанного электролита на толщину 0,2 мм в течение года:

$$N = \frac{\Phi_{\text{общ}}}{t''_m} = \frac{1700}{1,7} = 1000 \text{ дм}^2, \quad (31)$$

где $\Phi_{\text{общ}}$ – действительный фонд времени при односменной работе гальванического участка, в часах.

Годовой экономический эффект от применения холодного саморегулирующегося электролита на предприятии при программе 1000 дм^2 покрываемой поверхности на толщину 0,2 мм составит:

$$\Gamma_3 = [(709,88 + 0,12 \cdot 143,63) \cdot 1 - (80,07 + 0,12 \cdot 13,20)] \cdot 1000 = 645462 \text{ у.е. (2581848 руб.)}$$

То есть, в расчете на один дм^2 покрываемой площади, это 645,462 у.е. Данный результат объясняется значительным снижением времени проведения операции, что существенно экономит электроэнергию и расходы на заработную плату, что являются главными статьями расходов для получения покрытия.

Исходя из полученных данных, себестоимость восстановления одного золотника гидрораспределителя Р-80-3/1-444 хромированием из разработанного электролита составит:

$$C = \frac{C_{x2}}{n} = \frac{80,07}{6} = 13,34 \text{ у.е.} \quad (32)$$

n – количество одновременно покрываемых деталей, шт.

Рассчитаем далее механическую обработку одного золотника для определения окончательной стоимости восстановления детали до состояния новой.

Цена расходных материалов, затраченных на ремонт 1 золотника, представлены в табл. 10.

Таблица 10

Цена используемых расходных материалов на один восстановленный золотник

№ п/п	Наименование расходного материала	Стоимость, у.е.
1	Абразивный шлифовальный инструмент	15
2	СОЖ	15
	Всего	30

Затраты на электрическую энергию:

$$C_3 = P_{\text{об}} \cdot \Phi_p \cdot \Pi_3, \quad (33)$$

где $P_{об}$ – потребляемая мощность оборудования, кВт (для кругло-шлифовального станка $P_{об} = 10$ кВт); Φ_p – рабочее время использования оборудования, ч; $C_э$ – цена 1 кВт·ч электрической энергии, у.е. (по данным ООО «Агромеханизм» $C_э = 0,89$ у.е./1 кВт·ч).

Рабочее время использования оборудования при восстановлении одного золотника $\Phi_p = 0,2$ ч.

$$C_э = 10 \cdot 0,2 \cdot 0,89 = 1,78 \text{ у.е.}$$

Себестоимость восстановления одного золотника без учета амортизации оборудования:

$$C_{pz} = 13,34 + 30 + 1,78 = 45,12 \text{ у.е.}$$

Рассчитаем экономию от восстановления 1 золотника гидрораспределителя по формуле:

$$\mathcal{E} = C_n - C_{pz} = 150 - 45,12 = 104,88 \text{ у.е.}, \quad (34)$$

где C_n – стоимость нового золотника (по данным ООО «Агромеханизм» $C_n = 150$ у.е.), у.е.

При производственной программе 500 гидрораспределителей в год, экономия составит:

$$\mathcal{E}_{500} = 500 \cdot 3 \cdot 104,88 = 157320 \text{ у.е. (629280 руб. РФ).}$$

При восстановлении золотников гидрораспределителей себестоимость восстановления одного золотника в среднем уменьшается практически в 10 раз по сравнению с применением универсального электролита для восстановления за счет понижения трудоемкости восстановления, пониженного расхода электролита и электроэнергии. Кроме того, при сравнении со стоимостью нового золотника расходы на восстановление золотника новым электролитом меньше в несколько раз. И даже при использовании дополнительных работ, связанных с притиркой с корпусом гидрораспределителя и другими необходимыми ремонтными работами на 50–60 % дешевле нового гидрораспределителя. Также необходимо учесть, что согласно данным эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р-80-3/1-444 и Р-80-3/3-444 работоспособность и надёжность эксплуатации увеличивается на 20-30%, что приводит к дополнительной экономии на обслуживании и расход запасных частей.

ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Обоснована целесообразность восстановления деталей агрегатов и узлов специальных автомобилей, которые эксплуатируются предприятиями коммунального хозяйства и дорожно-строительного производства. Выяснено, что большое количество ресурсопределяющих деталей имеют предельный износ менее 0,5 мм, что даёт экономические предпосылки использования восстановления деталей с целью повышения работоспособности агрегатов и автомобилей в целом.

2. Обоснован выбор использования электролитического хромирования в качестве способа восстановления деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании, с целью улучшения качества и долговечности работы деталей специальных автомобилей. Так, на примере гидрораспределителей, ресурсопределяющими деталями которых являются золотники, было выявлено, что использование электролитического хромирования даёт возможность добиться ресурса не менее 80 % от новой детали, а в некоторых случаях и больше ресурса новой, что открывает перспективы его применения при восстановлении деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

3. Выполнен анализ литературных источников и произведен патентный поиск существующих электролитов хромирования, которые используются для получения износостойких покрытий при восстановлении деталей автомобилей. Данные покрытия обладают рядом преимуществ: высокая производительность, высокая микротвёрдость и износостойкость, возможность получения покрытий толщиной до 0,7 мм.

4. Предметом исследований выбран холодный саморегулирующийся электролит хромирования следующего состава, г/л: хромовый ангидрид (CrO_3) – 420 ÷ 450, карбонат кальция (CaCO_3) – 67 ÷ 75, сульфат кобальта ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) – 18 ÷ 20, при рабочем интервале температур электролита 18 ÷ 23°C. Существенным не-

достатком является малый диапазон рабочих температур электролита ($18 \div 23$ °С) для получения качественных хромовых покрытий с высокой производительностью, что усложняло внедрение его при восстановлении деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

5. Разработана методика проведения исследований и выбрано необходимое оборудование, с определением необходимых параметров и характеристик растворов электролитов хромирования, с заданной точностью, достоверностью и с учётом существующих методик.

6. Выполнена оптимизация состава электролита и режимов получения покрытий. С этой целью проведены исследования влияния неорганических добавок плавиковой кислоты и сульфата никеля на качество покрытий и производительность в рабочем температурном диапазоне $18 \dots 35$ °С. В результате оптимизации получен новый состав холодного саморегулирующегося электролита хромирования, г/л: CrO_3 – $420 \div 450$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 и HF – $0,7 \div 0,8$, обеспечивающий нанесение качественных покрытий толщиной от 200 до 500 мкм, с выходом по току $47,5 \pm 2,5$ % при рабочей температуре электролита $18 \text{--} 35$ °С, катодной плотности тока $75 \div 200$ А/дм² с микротвёрдостью осадков $8500 \div 11500$ МПа и износостойкостью получаемых хромовых покрытий в 2,5–3 раза выше эталонной пары трения. Разработана математическая модель оптимизации формирования хромового покрытия с заданной микротвёрдостью.

7. На основании проведенных исследований были получены патенты на способ получения хромового покрытия (2 в Приднестровье и 1 в России) и на установку для проведения исследований (Приднестровье).

8. Разработан типовой технологический процесс восстановления золотников гидрораспределителей Р-80 3/1-444, используемых на специальных автомобилях в коммунальных и дорожно-строительных хозяйствах, который был внедрён на предприятии ООО «Агромеханизм» г. Тирасполь.

9. Выполнен технико-экономический анализ эффективности применения разработанной технологии нанесения хромовых по-

крытий при восстановлении деталей автомобилей, который показал целесообразность внедрения разработанной технологии. При этом экономический эффект от применения разработанного холодного саморегулирующегося электролита хромирования при нанесении покрытий толщиной 0,2 мм составит 2581848 руб./1000 дм², стоимость восстановления 1 золотника 180 руб. РФ., при стоимости нового – 600 руб. РФ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТР 510-71. Технологическая рекомендация. Шлифование, суперфиниширование и хонингование хромированных поверхностей деталей из конструкционных высокопрочных и цементированных сталей. НИАТ, 1971. – С. 11. – Текст : непосредственный.

2. Агеенко, Н. С. Условия получения и свойства никелевых композиционных электрохимических покрытий с оксидом хрома различной дисперсности / Н. С. Агеенко, Н. А. Поляков. – Текст : непосредственный // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза. – 2003. – С. 40–43.

3. Ажогин, Ф. Ф. Гальванотехника: справочник / Ф. Ф. Ажогин, М. А. Беленький, И. Е. Галль. – Москва : Металлургия, 1987. – 736 с. – Текст : непосредственный.

4. Алексеев, Г. И. Твердое хромирование с добавкой «Лимеда Х-2» / Г. И. Алексеев, Ю. Н. Колокольцев, Э. А. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Экономия металла в гальванотехнике. Материалы краткосрочного семинара. – 1989. – С. 49–51.

5. Батищев, А. Н. Восстановление деталей гальваническими покрытиями : учебное пособие / А. Н. Батищев. – Москва : Всесоюз. сельхоз. институт заочного образования, 1991. – 72 с. – Текст : непосредственный.

6. Батищев, А. Н. Интенсификация электроосаждения хромовых покрытий при использовании органических добавок / А. Н. Батищев, И. Н. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Применение прогрессивных технологий, композиционных материалов и покрытий с целью повышения долговечности, сборочных единиц при изготовлении и ремонте машин. Тез. докл. Республиканской научно-технической конф. – Саранск. – 1994. – С. 8.

7. Батищев, Д. П. Влияние комплексобразующего вещества на производительность хромирования / Д. П. Батищев, Н. И. Корнейчук, И. Н. Корнейчук. – Текст : непосредственный // ВСХИЗО-агропромышленному комплексу. Сборник научных трудов. – Всероссийск. сельхоз. институт заочного обучения. – 1995. – С. 249–250.

8. Бирюков, Н. Д. К вопросу о тетрахроматных электролитах для хромирования / Н. Д. Бирюков. – Текст : непосредственный // Журнал прикладной химии. – 1971. – Т. 44. – № 9 – С. 1971–1975.

9. Бондаренко, И. Г. Применение органических соединений для улучшения технологических характеристик электролитов хромирования / И. Г. Бондаренко, И. А. Ткаченко, Н. И. Левченко. – Текст : не-

посредственный // Тезисы доклада 9 Всесоюзн. научно-технической конференции по электрохимическим технологиям, гальванотехника. – Казань. – 1987. – С. 157–158.

10. Бондарь, В. В. Электроосаждение аморфного хрома и сплавов на его основе / В. В. Бондарь, Е. Г. Винокуров, В. Н. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Итоги науки и техники. Серия: Электрохимия. – Москва, 1990. – Т. 33. – С. 37–49.

11. Ващенко, С. В. О некоторых физико–механических свойствах хромовых покрытий, полученных из хромовокислых электролитов с органическими добавками / С. В. Ващенко, И. Н. Солодкова, В. Н. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2000. – Т. 8. – № 3. – С. 25–28.

12. Ващенко, С. В. Электроосаждение хрома с повышенным выходом по току из хромовокислых электролитов с органической добавкой / С. В. Ващенко, Л. Н. Солодкова, З. А. Соловьев. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1993. – Т. 2. – № 4. – С. 15–18.

13. Виноградов, С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов. – Москва : Глобус, 1998. – Выпуск 3. – 298 с. – Текст : непосредственный.

14. Винокуров, Е. Г. Электроосаждение модифицированных дисперсными частицами хромовых покрытий и их физико-механические свойства / Е. Г. Винокуров, А. М. Арсенкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 2006. – Т. 42. – № 3. – С. 312–316.

15. Влияние добавки «СК» на электроосаждение хрома при разных температурах / С. В. Ващенко, Л. Н. Солодкова, З. А. Соловьева [и др.]. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1997. – Т. 5. – № 3. – С. 16–21.

16. Вячеславов, П. М. Высокопроизводительные электролиты для нанесения металлических покрытий / П. М. Вячеславов, А. М. Плескач. – Текст : непосредственный // Материалы краткосрочного семинара. – Ленинград : ЛДНТП, 1975. – 63 с.

17. Гаджов, И. Ускорение твердого хромирования / И. Гаджов, И. Ненов. – Текст : непосредственный // Москва : Машиностроение. – 1987. – Т. 36. – № 6. – С. 266–268.

18. Гамбург, Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению / Ю. Д. Гамбург. – Москва : Техносфера, 2006. – 216 с. – Текст : непосредственный.

19. Горшунова, В. П. Хромовые покрытия из малоконцентрированных электролитов хромирования / В. П. Горшунова, Б. А. Спиридонов.

– Текст : непосредственный // I международная научная конференция «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии»: тезисы доклада. – Плес. – 2008. – С. 108.

20. Густов, Ю. И. Исследование конструкционно-технологических и эксплуатационных показателей строительной техники / Ю. И. Густов. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2014. – № 4(30). – С. 470–475.

21. Демин, А. А. Малотоксичный электролит хромирования «ДТХИ-трихром» / А. А. Демин, Е. Р. Попов [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологический прогресс и вопросы экологии в гальванотехнике: тезисы доклада. – Пенза. – 1990. – С. 11–12.

22. Детали пассажирского, грузового и специальных автомобилей, дорожно-строительных машин, восстановление которых возможно гальваническими покрытиями: справочник / Н. И. Корнейчук, А. Н. Котомчин, Е. Ю. Ляхов [и др.]. – Бендеры : ПОЛИГРАФИСТ, 2019. – 93 с. – Текст : непосредственный.

23. Долматов, В. Ю. Получение износостойких хромовых покрытий с применением наноалмазов различной природы / В. Ю. Долматов, Т. Фуджимура, Г. К. Буркат [и др.]. – Текст : непосредственный // Сверхтвёрдые материалы. – 2002. – № 6. – С. 16–21.

24. Едигарян, А. А. О возможности замены стандартных ванн хромирования на сульфатно-оксалатные растворы Cr(III) / А. А. Едигарян, Ю. М. Полукаров. – Текст : непосредственный // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76. – № 2. – С. 333–334.

25. Едигарян, А. А. Электроосаждение хрома и его сплавов из сульфатных растворов Cr(III) / А. А. Едигарян, Ю. М. Полукаров. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2001. – Т. 9. – № 3. – С. 17–18.

26. Елинек, Т. В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2016–2017 годы / Т. В. Елинек. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2018. – Т. 26. – № 1. – С. 4–10.

27. Елинек, Т. В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2017–2018 годы / Т. В. Елинек. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2019. – Т. 27. – № 3. – С. 4–14.

28. Ефимов, Е. А. Кинетические параметры реакции электровосстановления хромовой кислоты до металлического хрома / Е. А. Ефимов, Л. Д. Ток. – Текст : непосредственный // Электрохимия. – 1991. – Т. 27. – № 1. – С. 111–116.

29. Ефимов, Е. А. Совместное осаждение хрома и кобальта / Е. А. Ефимов, В. В. Черных. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1992. – Т. 1. – № 5–6. – С. 30–32.

30. Жачкин, С. Ю. Холодное восстановление деталей машин методом гальваноконтактного осаждения покрытий / С. Ю. Жачкин. – Текст : непосредственный // Научные проблемы и перспективы развития, ремонта, обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей. Материалы международной научно-технической конференции. – Москва. – 2004. – С. 34–38.

31. Зорин, В. А. Надёжность механических систем: учебник для вузов / В. А. Зорин. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 379 с. – Текст : непосредственный.

32. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов / В. А. Зорин. – Москва : Магистр-Пресс, 2005. – 536 с. – Текст : непосредственный.

33. Исследование трения и износа деталей при ремонте машин и оборудования : методические указания / составители: А. Т. Лебедев, П. А. Лебедев, А. В. Захарин [и др.]. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос., Аграрного ун-та, 2016. – 57 с. – Текст : непосредственный.

34. Коломбини, К. Применение импульсных источников тока при твердом хромировании / К. Коломбини. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1993. – Т. 2. – № 3. – С. 58–61.

35. Корнейчук, И. Н. Влияние комплексобразующего вещества на микротвердость хромовых покрытий / И. Н. Корнейчук. – Текст : непосредственный // ВСХИЗО – агропромышленному комплексу: сборник научных трудов. – Всероссийск. сельхоз. институт заочного обучения. – 1995. – С. 250–251.

36. Корнейчук, И. Н. Влияние органической добавки на электроосаждение хрома из универсального электролита / И. Н. Корнейчук, Ж. И. Бобанова, А. Н. Батишев. – Текст : непосредственный // Электронная обработка материалов. – 1995. – № 4. – С. 115.

37. Корнейчук, И. Н. Интенсификация хромирования восстанавливаемых деталей сельскохозяйственной техники : автореф. дисс. канд. техн. наук : 05.20.03 / Корнейчук Игорь Николаевич. – Москва. – 1996. – 17 с.

38. Корнейчук, Н. И. Влияние концентрации трехвалентных соединений хрома на некоторые параметры холодного хромирования / Н. И. Корнейчук, А. В. Ковбасюк [и др.]. – Текст : непосредственный // Труды Кишиневского СХИ. – 1975. – № 144. – С. 17–23.

39. Корнейчук, Н. И. Гальваномеханический способ восстановления деталей машин / Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Новые технологические процессы восстановления деталей машин. – Кишинев : Штиинца. – 1988. – С. 10–21.

40. Корнейчук, Н. И. Перспективы использования промышленных методов восстановления изношенных деталей машин гальваническими и полимерными покрытиями в современных условиях развития агропромышленного технического сервиса / Н. И. Корнейчук, В. П. Лялякин. – Текст : непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – 2018. – № 130. – С. 254–265.

41. Косинова, М. С. Проблемы организации технического обслуживания и ремонта машин для сбора и вывоза твердых бытовых отходов / М. С. Косинова, Р. В. Каргин. – Текст : непосредственный // Исследования в области конструирования, рабочих процессов и эксплуатации технологических машин: сборник научных трудов. – Шахтинский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ). – 2006. – С. 99–104.

42. Котомчин, А. Н. Анализ влияния неорганических добавок на качество и производительность хромовых осадков / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников. – Текст : непосредственный // Сборник статей XII Республиканской научно-практической конференции «Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии» (с международным участием) БПФ ПГУ им. Т. Г. Шевченко. – 2020. – С.178–182.

43. Котомчин, А. Н. Анализ использования гальванических покрытий в автомобилестроении Германии / А. Н. Котомчин, А. П. Ткаченко, А. И. Артёменко. – Текст : непосредственный // Высокие технологии и инновации в науке : сборник избранных статей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 28 января 2020 года. – Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2020. – С. 159–165.

44. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов специальных автомобилей, возникающих в процессе эксплуатации / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин. – Текст : непосредственный // Материалы VII международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках 7-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие». – 2021. – С. 72–76.

45. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин и специальных автомобилей на примере МУП «КоммуналДорСервис» г. Бендеры / А. Н. Котомчин,

Ю. Г. Ляхов. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2019. – № 3(63). – С. 174–178.

46. Котомчин, А. Н. Анализ способов поддержания рабочей температуры при хромировании / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию БГТУ, Брянск. – 2019. – С. 55–59.

47. Котомчин, А. Н. Анализ электролитов хромирования для восстановления и упрочнения деталей машин / А. Н. Котомчин, Ю. Г. Ляхов. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2017. – № 3(57). – С. 113–119.

48. Котомчин, А. Н. Анализ электролитов хромирования, используемых в Германии / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы XIV Международной научно-технической конференции. – Вологда: Вологодский государственный университет. – 2020. – С. 60–67.

49. Котомчин, А. Н. Влияние неорганических добавок и условий электролиза хромирования на качество получаемых покрытий для восстановления и упрочнения деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 7. – С. 49–56.

50. Котомчин, А. Н. Влияние содержания 3-х валентного хрома в холодном саморегулирующемся электролите хромирования на рассеивающую способность / А. Н. Котомчин, А. П. Ткаченко, Ю. Г. Ляхов. – Текст : непосредственный // Colloquium-journal. – 2019. – № 18(42). – С. 35–39.

51. Котомчин, А. Н. Влияние состава электролита и режимов хромирования на производительность и качество осадков / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2020. – № 3(66). – С. 120–126.

52. Котомчин, А. Н. Влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специальных автомобилей на ресурс их узлов и агрегатов / А. Н. Котомчин, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Технический сервис машин. – 2019. – № 2(135). – С. 135–142.

53. Котомчин, А. Н. Влияние электрохимической обработки на прочность сцепления с подложкой при восстановлении деталей автотранспорта, работающих при гидроабразивном изнашивании / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022. – Т. 19. – № 4(86). – С. 546–559.

54. Котомчин, А. Н. Восстановление деталей узлов и агрегатов техники, работающих при гидроабразивном изнашивании / А. Н. Котомчин, Е. Ю. Ляхов. – Текст : непосредственный // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 5. – С. 8–12.

55. Котомчин, А. Н. Интенсификация процесса хромирования при восстановлении и изготовлении деталей машин / А. Н. Котомчин, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Lucrari stiintifice volumul 45, Universitatea Agrara de Stat din Moldova, Fac. De Inginerie Agrara si Transport, Auto, Chisinau: UASM. – 2015. – С. 262–268.

56. Котомчин, А. Н. Интенсификация процесса электролитического хромирования при восстановлении и упрочнении деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 3(70). – С. 22–32.

57. Котомчин, А. Н. Интенсификация хромирования при восстановлении и упрочнении деталей машин / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли: Материалы конференции, Москва, 18 марта 2021 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. – С. 37–39.

58. Котомчин, А. Н. Использование износостойкого хромирования при восстановлении и упрочнении деталей автомобилей / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 1(64). – С. 11–17.

59. Котомчин, А. Н. Использование электролитов хромирования для восстановления и упрочнения деталей машин / А. Н. Котомчин, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Современное строительство и архитектура: Энергосберегающие технологии, ремонт, восстановление, реновация». – Башкирский ГАУ, Уфа. – 2015. – С. 130–137.

60. Котомчин, А. Н. Использование электрохимического травления и активации для получения качественных хромовых покрытий / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников // Сборник статей XII Республикан-

ская научно-практическая конференция «Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии» (с международным участием) БПФ ПГУ им. Т. Г. Шевченко. – 2021. – С. 130–133.

61. Котомчин, А. Н. Исследование коррозионной стойкости износостойких хромовых покрытий / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Минск, 24 мая 2022 года. Том 1. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 295–298.

62. Котомчин, А. Н. Исследования адгезионных и износостойчивых свойств хромовых покрытий для восстановления деталей автомобилей и дорожно-строительной техники / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 4(92). – С. 458–473.

63. Котомчин, А. Н. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17. – № 1(71). – С. 84–97.

64. Котомчин, А. Н. Моделирование ограничений при оптимизации эффективности хромирования деталей машин / А. Н. Котомчин, Ю. В. Штефан, В. А. Зорин. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17. – № 6(76). – С. 736–752.

65. Котомчин, А. Н. Обоснование выбора номенклатуры деталей машин, восстанавливаемых электролитическими способами в условиях Приднестровья / А. Н. Котомчин, А. П. Ткаченко, Ю. Г. Ляхов. – Текст : непосредственный // Colloquium-journal. – 2019. – № 18(42) – С. 39–42.

66. Котомчин, А. Н. Определение предельного износа деталей при эксплуатации автомобилей в Приднестровье / А. Н. Котомчин, А. И. Артёменко. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2021. – № 3(69). – С. 113–119.

67. Котомчин, А. Н. Оптимизация проведения хромирования для восстановления деталей автомобилей и дорожно-строительной техники / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Вологда, 08 декабря 2022 года. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 235–241.

68. Котомчин, А. Н. Оптимизация работы ванны хромирования при восстановлении деталей автомобилей / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18. – № 4(80). – С. 390–405.

69. Котомчин, А. Н. Оптимизация условий электролиза при восстановлении золотников гидрораспределителя Р-80 хромированием / А. Н. Котомчин, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2021. – № 3(69) – С. 107–113.

70. Котомчин, А. Н. Организация лаборатории «Реновация машин и оборудования» в условиях БПФ ПГУ им. Т. Г. Шевченко / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Сборник статей по материалам IX Республиканской научно-практической конференции «Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии» (с международным участием) БПФ ПГУ им. Т. Г. Шевченко. – 2018. – С. 233–242.

71. Котомчин, А. Н. Проведение трибологических испытаний образцов, покрытых гальваническими износостойкими покрытиями, на машине трения СМЦ-2 / А. Н. Котомчин, А. С. Янута, А. И. Артёменко. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2020. – № 3(66). – С. 127–132.

72. Котомчин, А. Н. Производственные рекомендации по применению электролита хромирования в условиях предприятий Приднестровья / А. Н. Котомчин, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3(74). – С. 24–34.

73. Котомчин, А. Н. Совершенствование технологии электролитического хромирования для восстановления деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Котомчин Алексей Николаевич, 2022. – 198 с. – Текст : непосредственный.

74. Котомчин, А. Н. Сравнительная характеристика электролитов хромирования для восстановления и упрочнения деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 7. – С. 50–55.

75. Котомчин, А. Н. Стабильность работы ванны хромирования при восстановлении деталей автотранспорта / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении

нии, энергетике и на транспорте : материалы XVI Международной научно-технической конференции, Вологда, 08 декабря 2021 года. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2022. – С. 322–327.

76. Котомчин, А. Н. Упрочнение и восстановление деталей автомобилей хромированием / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников. – Текст : непосредственный // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XV Международной научно-технической конференции, Вологда: Вологодский государственный университет. – 2021. – С. 259–265.

77. Котомчин, А. Н. Условия получения качественных хромовых покрытий из холодного саморегулирующегося электролита хромирования для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин. – Текст : непосредственный // Интерстроймех-2022 : Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Ярославль, 12–14 октября 2022 года. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2022. – С. 285–293.

78. Котомчин, А. Н. Усовершенствование холодного саморегулирующегося электролита хромирования при упрочнении и восстановлении деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 4 (67). – С. 17–24.

79. Котомчин, А. Н. Установка для поддержания рабочей температуры электролитов при восстановлении деталей машин гальваническими покрытиями / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17. – № 4(74). – С. 500–511.

80. Кудрявцев, В. Н. Толстослойное хромирование из электролитов на основе серноокислого хрома / В. Н. Кудрявцев, Е. Г. Винокуров, В. В. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1998. – Т. 6. – № 1. – С. 24–30.

81. Кудрявцев, В. Н. Электролитическое хромирование / В. Н. Кудрявцев, Л. Н. Солодкова. – Текст : непосредственный // Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». – Москва : Глобус, 2007. – 193 с.

82. Малинин, В. Ф. Условия электроосаждения и физико-механические свойства покрытий из электролитов с низкой концентрацией хромового ангидрида / В. Ф. Малинин, А. И. Фаличева [и др.]. – Текст : непосредственный // Физико-механические свойства гальванических и

химических покрытий металлами и сплавами (Материалы семинара). – 1986. – С. 74–76.

83. Малинин, В. Ф. Хромирование прерывистым током из малоцентрированных электролитов / В. Ф. Малинин, Э. А. Гранкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 1987. – Т. 23. – № 6 – С. 1036–1038.

84. Малинин, В. Ф. Электроосаждение хрома из низкохромистого электролита с высокой равномерностью распределения по толщине / В. Ф. Малинин. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 1988. – Т. 24. – № 6. – С. 1020–1022.

85. Молчанов, В. Ф. Хромирование в саморегулирующихся электролитах / В. Ф. Молчанов. – Киев : Техника, 1972. – 155 с. – Текст : непосредственный.

86. Мухаметшина, Р. М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии / Р. М. Мухаметшина. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2013. – № 4(26). – С. 403–408.

87. Мухаметшина, Р. М. Трибологические отказы дорожно-строительных машин / Р. М. Мухаметшина. – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 18. – 2016. – № 1(2). – С. 252–255.

88. Начинов, Г. Н. К определению рассеивающей способности электролитов в ячейках с плоскопараллельными электродами / Г. Н. Начинов, Н. Т. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева. – 1973. – Т. 75. – С. 197–199.

89. Начинов, Г. Н. Рассеивающая способность электролитов и равномерности распределения гальванических покрытий / Г. Н. Начинов, Н. Т. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Итоги науки и техники. Серия: Электрохимия. – Москва: ВИНТИ. – 1979. – Т. 15. – С. 179–226.

90. Носенко, А. С. Исследование надежности и совершенствование конструкции контейнерных мусоровозов / А. С. Носенко, А. А. Домницкий. – Текст : непосредственный // Погрузочно-транспортные, строительно-дорожные и коммунальные машины. Технический сервис и конструкции: сборник научных трудов. – Шахтинский институт ЮРГТУ. Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2004. – С. 19–24.

91. Павлов, М. Р. Декоративное хромирование из комплексных электролитов трехвалентного хромирования / М. Р. Павлов, А. Г. Демаков, В. Н. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Покрытия и обработка поверхности: Тезисы доклада III международной конференции. – Москва : РХТУ. – 2005 – С. 166–167.

92. Пантелеенко, Ф. И. Восстановление деталей машин: справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов [и др.]; под общей редакцией В. П. Иванова. – Москва : Машиностроение, 2003. – 672 с. – Текст : непосредственный.

93. Патент № 2392356, Россия, МКИ C25D3/10/. Электролит хромирования (варианты) / Воржев В. Ф. [Россия], Стекольников Н. М. [Россия], Стекольников Ю. А. [Россия] – № 2008101407/02; Заявл. 10.01.2008; Оpubл. 26.06.2010. Бюл. № 57.

94. Патент № 2762695, Россия, МПК C25D3/04/. Способ электролитического хромирования / Котомчин А. Н. [Молдова], Зорин В. А. [Россия], Синельников А. Ф. [Россия] – № 2020138102; Заявл. 20.11.2020; Оpubл. 22.12.2021. Бюл. № 36. – 7 с. : ил.

95. Патент № 510, Приднестровье. Электролит и способ получения хромового покрытия / Котомчин А. Н., Корнейчук Н. И. ; заявитель и патентообладатель Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко. – № 1807; заявл., 08.01.2020; опубл. 14.01.2020. – 3 с. : ил.

96. Патент № 517, Приднестровье. Устройство для поддержания температуры электролита / Котомчин А. Н.; Котомчин А. Н.; заявл. 02.04.2020; опубл. 12.05.2020. – 9 с. : ил.

97. Патент № 522, Приднестровье. Электролит и способ получения хромового покрытия / Котомчин А. Н., Корнейчук Н. И. ; заявитель и патентообладатель Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко. – № 1853; заявл. 17.08.2020; опубл. 14.09.2020. – 4 с. : ил.

98. Пегачков, А. А. Разработка технологического процесса восстановления детали: методические указания к выполнению расчетно-графической работы / А. А. Пегачков. – Москва : МАДИ, 2018. – 40 с. – Текст : непосредственный.

99. Петров, Ю. Н. Прогрессивные способы восстановления деталей машин и повышения их прочности / Ю. Н. Петров, Н. И. Корнейчук [и др.]. // Межвузовский сборник научных трудов. – Кишинев: Кишиневский сельскохозяйственный институт им. М.В.Фрунзе. – 1979. – С. 48–51.

100. Петров, Ю. Н. Ремонт автотракторных деталей гальваническими покрытиями / Ю. Н. Петров, В. П. Косов, М. П. Стратулат. – Кишинев : Карта Молдовеняскэ. – 1976. – 150 с. – Текст : непосредственный.

101. Петроченкова, И. В. Влияние условий электролиза на рассеивающую способность электролитов хромирования / И. В. Петроченкова, В. М. Помогаев, А. В. Волкович. – Текст : непосредственный // Известия вузов: Химия и химическая технология. – 2009. – Т. 52. – № 6. – С. 54–57.

102. Петроченкова, И. В. Особенности влияния температуры на рассеивающую способность электролитов / И. В. Петроченкова, В. М. Помогаев, А. В. Волкович. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов: Успехи в химии и химической технологии. – Москва. – 2004. – Т. 18. – С. 42–44.

103. Петроченкова, И. В. Особенности рассеивающей способности электролитов хромирования / И. В. Петроченкова, В. М. Помогаев [и др.]. – Текст : непосредственный // VI научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов: Тезисы докладов. – Новоомск : НИ РХТУ им. Д. И. Менделеева. – 2004. – С. 162.

104. Петроченкова, И. В. Прогнозирование равномерности осаждения гальванических покрытий / И. В. Петроченкова, А. Е. Шувакин, В. М. Помогаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия вузов: Химия и химическая технология. – Иваново. – 2007. – Т. 50 – № 3. – С. 103–107.

105. Петроченкова, И. В. Прогнозирование равномерности осаждения гальванических покрытий / И. В. Петроченкова, В. М. Помогаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия вузов: Химия и химическая технология. – 2007. – № 3. – С. 103–107.

106. Попов, Е. Р. Нанесение гальванических покрытий хромом и его сплавами из электролитов на основе трехвалентного хрома / Е. Р. Попов. – Текст : непосредственный // Экологические проблемы в области гальванотехники: Тезисы докладов конференции. – 22–25 апр. 1991. – Киев. – С. 16–18.

107. Попов, Е. Р. Электролит хромирования с универсальной саморегулирующей добавкой «ДХТИ-хром-12» / Е. Р. Попов, И. А. Ткаченко. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1993. – Т. 2. – № 10 – С. 39–41.

108. Практикум по прикладной электрохимии / Под редакцией В. Н. Кудрявцева, В. Н. Варыпаева. – Ленинград : Химия, 1990. – 304 с. – Текст : непосредственный

109. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов / Под редакцией В. А. Зорина. – [10-е изд.]. – Москва : Мастерство, 2016. – 510 с. – Текст : непосредственный

110. Руденок, В. А. Математическая зависимость плотности тока коррозии основы от пористости хромовых покрытий / В. А. Руденок, О. В. Кузнецова. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2019. – Т. 27. – № 1. – С. 17–19.

111. Савочкина, И. Е. Электроосаждение хрома из низкотемпературных электролитов / И. Е. Савочкина, А. В. Фролова, Г. В. Халдеев.

– Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1994. – Т. 3. – № 5–6. – С. 38–40.

112. Семин, В. М. Саморегулирующиеся высокопроизводительные электролиты. – Москва : МДНТП, 1976. – 30 с.

113. Смирнов, К. Н. К вопросу о кроющей способности электролитов / К. Н. Смирнов, Е. А. Архипов, Д. В. Кравченко. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2015. – Т. 23. – № 3. – С. 30–34.

114. Солодкова, Л. Н. Высокопроизводительный электролит износостойкого хромирования / Л. Н. Солодкова, С. В. Ващенко, В. Н. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2003. – Т. 11. – № 3. – С. 31–33.

115. Солодкова, Л. Н. Изучение механизма влияния добавки алкил сульфосоединения на скорость электроосаждения хрома / И. Н. Солодкова, С. В. Ващенко, З. А. Соловьева. – Текст : непосредственный // Электрохимия. – 2001. – Т. 37. – № 7. – С. 841–846.

116. Солодкова, Л. Н. Исследование пленки на катоде при электровосстановлении хромовой кислоты / Л. Н. Солодкова, З. А. Соловьева. – Текст : непосредственный // Электрохимия. – 1994. – Т. 30. – № 10. – С. 1254–1256.

117. Солодкова, Л. Н. Катодный процесс при осаждении хрома из хромоокислых электролитов с органической добавкой / Л. Н. Солодкова, С. В. Ващенко, З. А. Соловьева. – Текст : непосредственный // Электрохимия. – 1994. – Т. 30. – № 7. – С. 950–952.

118. Спиридонов, Б. А. Электроосаждение покрытий сплавом хром-кобальт из сульфатных растворов / Б. А. Спиридонов. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 2005. – Т. 41. – № 3. – С. 273–277.

119. Спицын, И. А. Новые технологические процессы восстановления деталей машин гальваническими покрытиями / И. А. Спицын, И. Г. Голубев. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 48 с. – Текст : непосредственный.

120. Стратулат, М. П. Восстановление деталей машин электрохимическим хромированием : монография / М. П. Стратулат. – Орел : Орел ГТУ, 2009. – 246 с. – Текст : непосредственный.

121. Стратулат, М. П. Восстановление и упрочнение деталей машин скоростным электролитическим хромированием / М. П. Стратулат. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Инженерно-техническое обеспечение АПК и машинно-технологические станции в условиях реформирования». – Т. 1. – Орел, 2000. – С. 97–98.

122. Стратулат, М. П. Сцепляемость упрочняющих электролитических хромовых покрытий с чугушной подложкой деталей машин / М. П. Стратулат. – Текст : непосредственный // Сборник материалов IV Международной научно-практической интернет-конференции «Энерго- и ресурсосбережение – XXI век». – Орел : ОрелГТУ. – 2006. – С. 156.

123. Твердые износостойкие гальванические покрытия / В. В. Москвичева, А. М. Озеров, В. Т. Фомичев [и др.]. – Москва : МДНТП, 1980. – С. 18. – Текст : непосредственный.

124. Технология машиностроения, производство и ремонт подъёмно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник для студентов вузов / Под редакцией В. А. Зорина. – Москва : Академия, 2010. – 576 с. – Текст : непосредственный.

125. Ткаченко, И. Д. Усовершенствование технологии хромирования с применением неорганических и органических композиций / И. Д. Ткаченко [и др.]. – Текст : непосредственный // Разработка и применение твердых металлических покрытий. – Днепропетровск. – 1981. – С. 223–224.

126. Ток, И. Д. Технология осаждения износостойких и защитно-декоративных хромовых покрытий / И. Д. Ток, Е. С. Крутлюкова, И. Г. Хомченко. – Текст : непосредственный // Гальванотехника, обработка поверхности и экология в 21 веке / Ежегодная Всероссийская научно-практическая конференция и выставка. – 2003. – С. 129–130.

127. Трение, изнашивание и смазка : справочник / Под редакцией И. В. Крагельского, В. В. Алисина. – Москва : Машиностроение, 1978. – 400 с. – Текст : непосредственный.

128. Фаличева, А. И. Исследование процесса хромирования из малоконцентрированных хромовых электролитов в стационарном и импульсном режиме электролиза / А. И. Фаличева, В. Ф. Малинин, Э. А. Гранкин. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 1982. – Т. 18. – № 5 – С. 777–779.

129. Фаличева, А. И. О механизме катодных процессов при хромировании из хроматных электролитов / А. И. Фаличева, Р. И. Бурдыкина. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 1995. – Т. 31. – № 2 – С. 209–214.

130. Фомичев, В. Т. Электроосаждение хрома из электролитов, содержащих органические добавки : автореф. дис. докт. техн. наук / В. Т. Фомичев. – Новочеркасск. – 1994. – 34 с. – Текст : непосредственный.

131. Фуртатова, О. Н. Интенсификация электролитического хромирования и обезвреживание хромсодержащих стоков : автореф. дис.

канд. техн. наук / О. Н. Фуртатова. – Новочеркасск. – 2004. – 16 с. – Текст : непосредственный.

132. Черноиванов, В. И. Восстановление деталей машин (состояние и перспективы) / В. И. Черноиванов, И. Г. Голубев. – Москва : ФГНУ «Росинформ-агротех». – 2010. – 376 с.

133. Шапник, М.С. Гальванические покрытия сплавами / М. С. Шапник. – Текст : непосредственный // Соросовский образовательный журнал. – Т. 7. – № 6. – 2001. – С. 42–47.

134. Шлугер, М. А. Новые электролиты для покрытий хромом и его сплавами / М. А. Шлугер, Л. Д. Ток. – Текст : непосредственный // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – 1988. – Т. 32. – № 3. – С. 297–305.

135. Шлугер, М. А. Низкоконцентрированный электролит хромирования с твердой катализирующей добавкой / М. А. Шлугер, Е. Н. Шувалова. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1992. – Т. 2. – № 3–4. – С. 92–93.

136. Шлугер, М. А. О специфике влияния различных анионов на процесс электроосаждения хрома / М. А. Шлугер, Т. Г. Ситникова. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 1990. – Т. 26. – № 2 – С. 310–312.

137. Шлугер, М. А. Перспективы развития электролитического хромирования / М. А. Шлугер. – Текст : непосредственный // Теория и практика защиты от коррозии. Тезисы докладов V Областной межотраслевой научно-технической конференции, Самара. – 1991. – 169 с.

138. Шлугер, М. А. Ускорение и усовершенствование хромирования деталей машин – М.: Машгиз, 1961. – 140 с. – Текст : непосредственный.

139. Щербаков, А. М. Изучение состава хромовых покрытий / А. М. Щербаков. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2001. – Т. 2. – № 1. – С. 3–4.

140. Электроосаждение толстых твердых хромовых покрытий из электролитов на основе трёхвалентного хрома / О. Е. Азарко [и др.]. – Текст : непосредственный // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1997. – Т. 5. – № 4. – С. 26–27.

141. Baraldi, P. On the kinetics of chromium electrodeposition on copper electrodes/ P. Baraldi, E. Soragni // J. Alloys and Compounds. – 2001. – № 317 – 318. – pp. 612–618.

142. Bobanova, J.I. Pulse Plating of Chromium./J.I. Bobanova, N.I. Tsintsaru u.a. // Buletinul Institutului Politehnic din Iași TXLIII (LII). / Supl. II. – 2002. –SectiaV. – pp. 139–142.

143. Bolch, T. Innovative Oberflächenstrukturen durch elektrochemische Beschichtungsverfahren./T. Bolch, R. Linde u.a. // Galvanotechnik. – 2005. – №103. – pp. 2095–2100.

144. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Galvanotechnik. 2005, №11, Teil 3: Katalysatorhaltige Elektrolyte, pp. 2619–2628.

145. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Galvanotechnik. 2005, №9, Teil 1: Chromsäurelösungen, pp. 2063–2071.

146. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Galvanotechnik. 2006, №12, Teil 11: Aufbau des Kathodenfilms, pp. 2888–2896.

147. Distelrath, A. Investigation of structured electrodeposition of hard chromium coatings / A. Distelrath, C. Jakob // Information technology and electrical engineering – devices and systems, materials and technologies for the future. – Ilmenau: 2009. – 379 p.

148. Distelrath-Lubeck, A. Untersuchung des Einflusses von Methansulfonsäure auf die Chromabscheidung aus Chromsäure-elektrolyten / A. Distelrath-Lubeck // Galvanotechnik. – 2011. – № 102. – pp. 2647–2657.

149. Duan, S. Plating and Surface Finishing / S. Duan, H. Li, X. Zhang, J. Dash // Jure, 1995. – V.82. - №6. – pp. 84–86.

150. Dubpernell, G. Eigenschaften von Chromüberzügen aus Chromispelelektrolyten / G. Dubpernell, D. Kenney // Galvanotechnik. – 2002. – Bd. 93. № 6 – pp. 1466–1469.

151. Funktional chromium plating. Newby Kenneth R. Metal Finishing. – 1991. – v.89. – № 1A. – 188 p.

152. Kotomchin, A. N. Study of High-Performance Chromium Electrolyte for Restoration of Automobile and Road-Construction Machinery Parts / A. N. Kotomchin, V. A. Zorin // 2021 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex, TIRVED 2021 - Conference Proceedings, Moscow, 11–12 ноября 2021 года. – Moscow, 2021. – DOI 10.1109/TIRVED53476.2021.9639216.

153. Kudryavtsev, V. N. Verchromungsbaecher mit hoher stromausbeute / V. N. Kudryavtsev // Galvanotechnik. – 1997. – v. 88. – № 8 – pp. 2581–2583.

154. Metzner, M. Nasse Kombinationen – Funktionelle Oberflächen durch elektrochemische In-situ-Strukturierung [Text] / M. Metzner, T. Bolch, R. Linde, K. Mull // Metalloberfläche. – 2003. – №57. – pp. 18–22.

155. Metal Finishing. Guidebook and Directory Issue, published by Metal Finishing magazine. – 2004. – v. 102. – 870 p.

156. Miihle, A. Verbesserung der Schichteigenschaften von Hartchrom durch Legierungsabscheidung / A. Miihle // Galvanotechnik. 2004. – v. 95. – № 10. – pp. 2412–2416.

157. Newby Kenneth, R. Functional chromium plating / R. Newby Kenneth // Metal Finish. – 2004. – v. 102. – № 4A. – pp. 188–198.

158. Repenning, D. Nanodispersionsgehartete Chromschichten / D. Repenning // Galvanotechnik. 2000. – v. 91. – № 10. – pp. 2878–2883.

159. Tsyntsar, N. I. Throwing Power of the Standard Chrome-Plating Electrolyte in Plating with Constant and Pulsed Currents / Tsyntsar, N.I., Yakovets I.V. u.a. // Surf. Engineering Applied Electrochem. – 2005. – v. 41. – № 1. – pp. 11–16.

160. Yakovec, I. V. Ecological Aspects of the Throwing Power Increasing of Electrolyte During Intensive Electrodeposition / I. V. Yakovec, Zh.I. Bobanova u.a. // III International Conference Ecological Chemistry. – 2005. – Abstract. Moldova, Kishinev. – pp. 1–6.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Методика проведения анализа растворов электролитов.

1. Определение шестивалентного хрома - Cr (VI)

Содержание Cr (VI) определяют объемным методом - титрованием солью Мора в присутствии индикатора фенилантраниловой кислоты.

Реактивы:

Серная кислота, пл. 1,84 г/см³,

Бихромат калия, 0,1н. раствор,

Углекислый натрий (безводная соль),

Фенилантраниловая кислота. Растворяют, перемешивая 0,2 г реактива и 0,2 г углекислого натрия в 100 мл воды при 100°C.

Соль Мора. Растворяют 40 г соли Мора в 500 мл воды, приливают 100-150 мл серной кислоты и доводят объем до 1 л.

Титр рабочего раствора соли Мора устанавливают по 0,1н. раствору бихромата калия. Для установки титра помещают 10 мл 0,1н. раствора бихромата калия в коническую колбу емкостью 500 мл, приливают 100 мл воды, 20 мл серной кислоты и 3-4 капли индикатора (фенилантраниловой кислоты). Раствор титруют солью Мора до перехода красной окраски раствора в зеленую.

Титр вычисляют по формуле:

$$T_{с.м.} = 0,00173 \cdot \frac{a}{b} \quad (1)$$

где a - объем 0,1н. раствора бихромата калия, мл;

b - объем раствора соли Мора, пошедшего на титрование, мл;

0,00173 - титр точно 0,1н. раствора соли Мора по бихромату калия.

Ход определения

В медную колбу емкостью 500 мл помещают 10 мл раствора электролита, разбавляют водой до метки и перемешивают. Переносят 5мл полученного раствора в коническую колбу емкостью 250 мл, приливают 150-200 мл воды, 10мл концентрированной серной кислоты, 4-5 капель индикатора (фенилантраниловой кислоты) и титруют солью Мора до перехода красной окраски раствора в зеленую. Содержание Cr (VI) в электролите вычисляют по формуле:

$$Cr(VI) = a \cdot T_{с.м.} \cdot K, \text{ г/л}, \quad (2)$$

где a - объем соли Мора, пошедшей на титрование, мл;

T_{с.м.} - титр соли Мора по бихромату калия;

K - разбавление, равно $\frac{500}{10 \cdot 5} \cdot 1000$

Коэффициент пересчета с Cr (VI) на CrO₃ равен 1,92.

2. Определение общего хрома

Содержание общего хрома определяют объемным методом - окислением имеющегося в растворе трехвалентного хрома до шестивалентного перекисью водорода с последующим титрованием солью Мора в присутствии индикатора фенилантраниловой кислоты.

Реактивы: Перекись водорода (концентрированная).

Остальные реактивы те, которые применяют для определения шестивалентного хрома (см. п. 1).

Ход определения

Переносят 5 мл разбавленного раствора электролита в коническую колбу емкостью 250мл, приливают 150-200 мл воды, присыпают углекислого натрия до образования небольшого осадка, приливают 10 мл перекиси водорода и кипятят 40 минут. Охлаждают до комнатной температуры, приливают 15-20 мл серной кислоты, 4-5 капель индикатора (фенилантраниловой кислоты) и титруют солью Мора до перехода красной окраски раствора в зеленую.

Содержание общего хрома вычисляют по формуле:

$$C_{\text{Собщ}} = a \cdot T_{\text{с.м.}} \cdot K, \text{ г/л}, \quad (3)$$

где а - объем соли Мора, пошедшей на титрование, мл;

T с.м. - титр соли Мора по бихромату калия;

K - разбавление, равное $\frac{500}{10 \cdot 5} \cdot 1000$

3. Определение сульфат-ионов

Содержание SO_4^{2-} -ионов определяют весовым методом – предварительно шестивалентный хром восстанавливают в солянокислой среде до трехвалентного кипячением пробы электролита с этиловым спиртом, затем сульфат-ионы осаждают хлоридом бария, прокаливают и взвешивают.

Реактивы: Соляная кислота, пл. 1,19 г/см³,

Этиловый спирт.

Хлорид бария (5% раствор).

Ход определения

В коническую колбу емкостью 500 мл помещают 10 мл раствора электролита, разбавляют водой до 125 мл, приливают 10 мл соляной кислоты и 10 мл этилового спирта. Раствор кипятят до удаления запаха этилового спирта и образования альдегида (около 1 часа). В горячий раствор осторожно приливают 10 мл 5%-ного раствора хлорида бария (реактив прибавляют малыми порциями при перемешивании стеклянной палочкой) и кипятят 5 минут. Раствор оставляют на 2 часа на теплой плите, а затем фильтруют через фильтр "синяя лента". Осадок промывают сначала 1%-ным раствором соляной кислоты, а затем теплой водой. Фильтр укладывают в фарфоровый тигель, высушивают, прокаливают до постоянной массы и взвешивают.

Содержание SO_4^{2-} -ионов (X) вычисляют по формуле:

$$X = \frac{a \cdot 0,4113}{m} \cdot 1000, \text{ г/л}, \quad (4)$$

где а - масса осадка сульфата бария, г;

0,4113 - коэффициент пересчета с сульфата бария на SO_4^{2-}

m - количество электролита, взятое для определения, мл.

4. Определение железа

Железо определяют объемным методом - титрованием дихроматом калия в присутствии индикатора дифениламиновой кислоты. Предварительно железо (III) восстанавливают до железа (II) в кислой среде в присутствии металлического цилиндра.

Реактивы:

Углекислый натрий (безводная соль).

Перекись водорода (концентрированная)

Соляная кислота пл. 1,19 г/см³.

Фосфорная кислота, пл. 1,7 г/см³.

Цинк металлический.

Серная кислота, пл. 1,84 г/см³.

Дифениламиновая кислота. Растворяют 0,1 г реактива в 100 мл 50%-ного раствора серной кислоты.

Бихромат калия, 0,05 н раствор.

Ход определения

В коническую колбу емкостью 500 мл переносят 10 мл разбавленного электролита (по п.1), приливают 150-200 мл воды, присыпают углекислый натрий до щелочной реакции, приливают 10 мл перекиси водорода и кипятят 40 минут. Горячий раствор фильтруют через бумажный фильтр. Осадок промывают на фильтре горячей водой и растворяют в небольшом количестве (5-6 мл) соляной и фосфорной кислот с объемным отношением 1:1. Раствор нагревают до кипения и добавляют 5-6 г цинка до исчезновения зеленой окраски. Раствор разбавляют водой, понижая температуру до комнатной, приливают 15-20 мл серной кислоты, 4-5 капель индикатора дифениламиновой кислоты и титруют 0,05 н раствором бихромата калия до появления устойчивой фиолетовой окраски.

Содержание железа вычисляют по формуле:

$$C_{Fe(III)} = 0,002792 \cdot a \cdot K, \text{ г/л}, \quad (5)$$

где а - объем 0,05 н. раствора бихромата калия, пошедшего на титрование;

К - разбавление, равное, $\frac{500}{10 \cdot 10} \cdot 1000$;

0,002792- титр 0,05 н. раствора бихромата калия по железу.

5. Определение кальция

Содержание кальция определяют весовым методом. Кальций осаждают в слабоаммиачной среде в виде оксалата. Полученный осадок при сжигании в муфельной печи разлагается до окиси кальция, которую затем взвешивают.

Реактивы:

Метилловый оранжевый (0,1% раствор).

Аммиак (25% раствор).

Соляная кислота, пл.1,19 г/см³.

Хлористый аммоний (1% раствор).

Оксалат аммония (насыщенный и 1% раствор).

Ход определения

В стакан емкостью 200мл переносят 2 мл электролита и разбавляют водой до 80-90 мл. Раствор нагревают до кипения и нейтрализуют аммиаком до изменения окраски индикатора (метилловый оранжевый) в желтую (рН=7, при пониженной кислотности добавляют несколько капель соляной кислоты). Раствор фильтруют (фильтр "белая лента) и полученный осадок промывают горячим 1%-ным раствором хлористого аммония. Фильтр нагревают до кипения, приливают 1,3-2 мл соляной кислоты (окраска раствора изменяется до более красной), приливают 20 мл насыщенного горячего раствора оксалата аммония, кипятят и постепенно

приливают раствор аммиака (1:1) до изменения окраски. Раствор доводят до кипения, отстаивают в течение 2 часов (лучше на ночь) и фильтруют (фильтр "синяя лента"). Посуду и фильтр промывают 1%-ным раствором оксалата аммония и несколько раз холодной водой. Фильтр с осадком переносят в тигель, подсушивают на плите, сжигают, прокаливают в муфеле и взвешивают.

Содержание кальция вычисляют по формуле:

$$C_{Ca(II)} = \frac{a \cdot 0,7147}{m} \cdot 1000, \text{ г/л}, \quad (6)$$

где a - масса осадка окиси кальция, г;

m - количество электролита, взятое для определения, мл.

0,7147 - коэффициент пересчета с окиси кальция на кальций.

6. Определение кобальта (никеля)

Содержание кобальта определяют фотометрическим методом по интенсивности окраски внутрикомплексного соединения соли кобальта (никеля) с нитрозо – R-солью.

Реактивы: Хлорная кислота.

Соляная кислота, пл. 1,19 г/см³.

Азотная кислота, пл. 1,4 г/см³.

Нитрозо -R-соль, 1% раствор.

Ацетат натрия, 50% раствор.

Стандартный раствор кобальта (никеля), содержащий 0,001 г кобальта (никеля) в 1мм. Б стакан емкостью 250 мл помещают 0,5 металла, добавляют 30 мл воды и 30мл азотной кислоты (3:2). После растворения навески приливают 30 мл серной кислоты и выпаривают до появления паров серной кислоты. Б охлажденный раствор вводят 50 мл воды и растворяют соли при нагревании. После растворения осадка раствор переносят в мерную колбу емкостью 500мл, доливают воду до метки и перемешивают.

Ход определения

Отбирают 2 мл раствора и смывают в стакан емкостью 200 мл, приливают 10-20 мл хлорной кислоты и нагревают на плите до появления паров хлорной кислоты, приливают соляной кислоты (по стенке) до исчезновения паров хлористого хрома и снова нагревают до покраснения раствора. Остаток раствора подкисляют 1-2мл соляной кислоты и разбавляют водой до 50 мл.

В мерную колбу на 50 мл помещают 5 мл полученного раствора и разбавляют до метки. В 5 мл последнего раствора приливают 2-3 капли азотной кислоты, 3 мл раствора нитрозо–R-соли, 3 мл 50% раствора ацетата натрия и разбавляют водой до объема 40 мл. Раствор кипятят одну минуту, охлаждают до комнатной температуры, разбавляют водой до метки 50мл и перемешивают.

Оптическую плотность раствора измеряют на фотоколориметре в кювете толщиной 20мм на фоне холостого раствора (вода со всеми указанными реактивами в тех же количествах). Одновременно измеряют оптическую плотность

стандартного раствора кобальта. Для этого отбирают 2 мл стандартного раствора в колбу на 500 мл и разбавляют водой до метки» Переносят 0,5, 1 и 2 мл этого

раствора в мерные колбы емкостью 100 мл, добавляют все реактивы, как указано в ходе анализа и измеряют оптическую плотность раствора на фоне холостого.

Содержание кобальта (X) вычисляют по формуле:

$$X = \frac{a \cdot D_{и}}{D_{ст} \cdot m} \cdot 2,627 \cdot 1000, \text{ г/л}, \quad (7)$$

где a - содержание кобальта в стандартном растворе, г;

$D_{и}$ - оптическая плотность исследуемого раствора, г/см³;

$D_{ст}$ - оптическая плотность стандартного раствора, г/см³;

m - объем раствора электролита, взятого для анализа, л;

2,627 - коэффициент пересчета кобальта на сульфат кобальта.

Определение кобальта в электролитическом осадке хрома производилось качественно по методике. Метод основан на образовании окрашенного (синего) комплекса $[\text{Co}(\text{CNS})_6]_4^-$ с последующей экстракцией его изоамиловым спиртом.

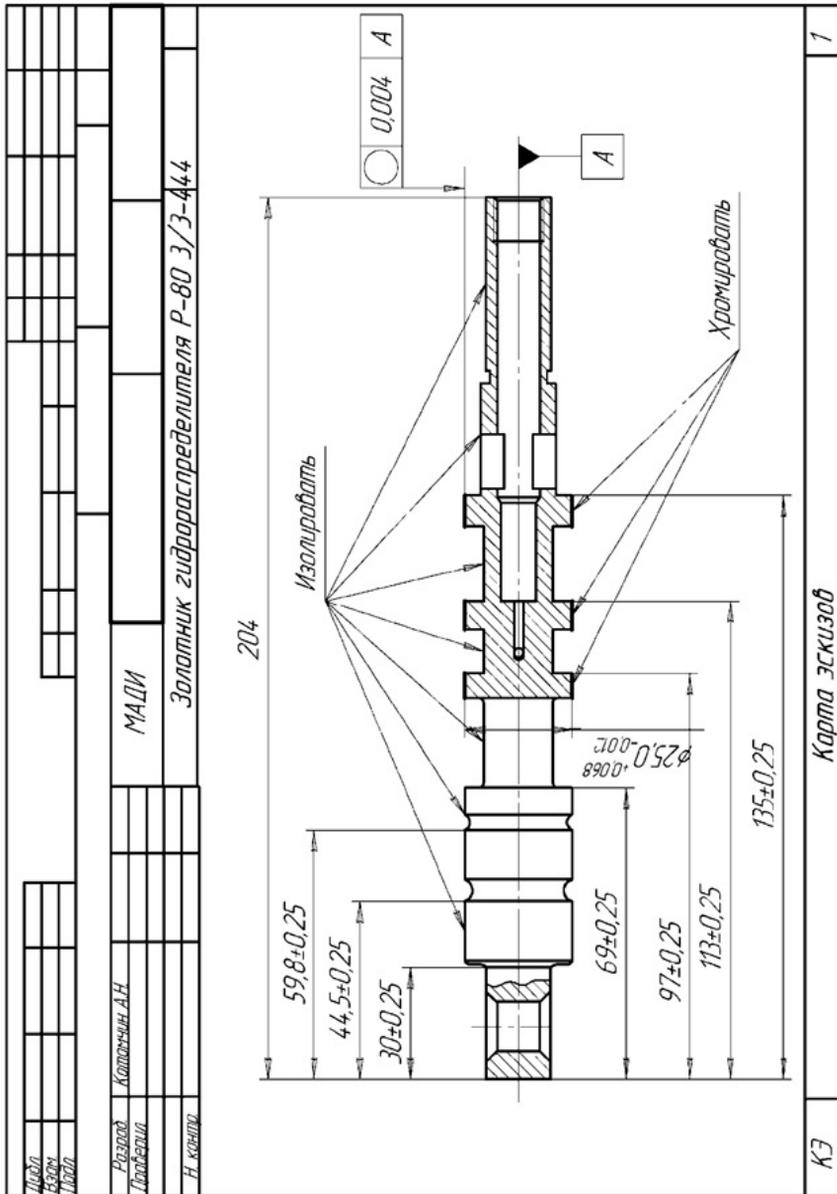
Для маскировки ионов железа в пробы добавляют пирофосфатнатрия, связывающий железо в бесцветный комплекс.

Проводилось два параллельных опыта. В первой пробе заведомо не было кобальта, так как исследованию подвергалось покрытие, полученное в электролите без добавок. Во второй - исследовались покрытия, полученные в растворе с ионами кобальта. В опытах по второму варианту кольцо изоамилового спирта принимает голубую окраску, что свидетельствует о наличии в осадке следов кобальта.

Наименование детали, ее элементов или материала	Материал	Способ обработки	Обозначение материала	Классификация	Примечание
к/ч	Г	С	П	К	Л
А	15х	4	РМ	Отед	Классификация алюминия
Б					Для изготовления деталей
В					Наименование детали, ее элементов или материала
01					
А 02					015 Шлифовальная
Б 03					Кругошлифовальный станок 3Г182
Г 04					Круг шлифовальный 24А 40П С1 5К5 ГОСТ 2424-83
И 05					СОЖ - 5% кальцинированной соды
О 06					Шлифовальность поверхности, которую необходимо покрыть хромом, выдерживая размеры
О 07					и шероховатость
Р 08					Поверхность должна быть обработана до выведения следов износа без прижогов, сколов,
Р 09					забрызг и других макродефектов
Р 10					Шероховатость поверхности Ra 0,63...1,25 мкм ГОСТ 2789-73
11					
А 12					020 Монтажная
Б 13					Верстак слесарный ОРГ-1468-01
Г 14					Навеска для крепления деталей, набор слесаря №1 ГОСТ 26810-86
И 15					Изолирующая лента, лак
О 16					Закрепить деталь в навеске, изолирующая поверхность не покрываемые поверхностью
17					Наличие лака и ленты на покрываемой поверхности не допускается
МК					Маршрутная карта
					2

А	Узел	Уч	МУ	Узел	Код наименования детали	УМ	Повд	Р	Ч/К	КР	КОВИ	ЕН	ОП	Кип	Гпз	Лит
Б	Код наименования детали															
В	Наименование детали со ссылкой или материала															
01																
А 02	035 Электрохимическое травление															
Б 03	Ванна электрохимического травления 70-788-1095 ГОСНИТИ															
М 04	Электроды не растворимые сплав свинца с сурьмой ГОСТ 1292-81															
М 05	Электролит травления (Вода дистиллированная ГОСТ Р 58144-2018, 365 г/л серной															
М 06	кислоты (плотность 1,83 г/см ³), ГОСТ 2184-2013 и 15 г/л сульфата железа ГОСТ 4148-78)															
Р 07	Д _т =40, 130 А/дм ² , U=8, 10 В, T _т =0,5, 3 мин, tэл=18-25 с.															
О 08	Протравить покрываемую поверхность															
09	Наличие ожогов не допускается															
10																
А 11	040 Промывочная															
Б 12	Ванна для холодной промывки в проточной воде 70-7888-1100 ГОСНИТИ															
М 13	Вода техническая ГОСТ 33937-2016															
О 14	Промывать детали в холодной воде путем окуривания 3-4 раза															
Р 15	Время между выгрузкой из ванны промывки и погружения в электролит															
Р 16	хромирования не более 10 с															
17																
МК	Маршрутная карта															
	4															

ГОСТ 3.1118-82										Формат А5					
Исход.															
Взнос.															
Итого.															
А	Шкф	Уч	РН	Удво	Код наименования детали	СМ	Госор	Р	УГ	КР	КОИИ	ЕН	ОГ	Конт	Гос
Б	Код наименования детали	Обозначение документа													
К/М	Наименование детали со ссылкой на материал														
А 01	060 Сушильная														
Б 02	Шкаф сушильный ШС-80-01														
О 03	Просушить детали при $t=200\pm 15$ °С в течение 1.12 ч														
О4															
А 05	065 Контрольная														
Б 06	Верстак слесарный ОРГ-1468-001														
Т 07	МК ГОСТ 6507-90														
Р 08	Контролировать качество поверхности визуально, проверить размер детали и твердость														
Р 09	покрытия 3-5 деталей из партии														
Р 10	Не допускается наличие на поверхности деталей трещин, сколов, отслаиваний														
Р 11	Твердость покрытия 7000..10000 МПа при толщине 0.3..0.5 мм														
12															
А 13	070 Шлифовальная (добавочная)														
Б 14	Кругшлифовальный стачок ЗГ182														
Т 15	Круг шлифовальный 24А 40П С1 5К5 ГОСТ 2424-83														
М 16	СОЖ - рствор кальцинированной соды 5%														
О 17	Провести шлифовальные детали, выравнявая форму и выдерживая размеры														
МК	Маршрутная карта														7



Научное издание

**Восстановление деталей автомобилей, работающих
при гидроабразивном изнашивании
электрохимическим хромированием**

Монография

Компьютерная верстка А.А. Маракуца

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.2002.

Подписано в печать . Формат 60×84/8.

Усл. печ. л. 10,23. Заказ № 246. Электронное издание.

Изд-во Приднестр. ун-та. 3300, г. Тирасполь, ул. Мира, 18