УДК 631.3.07:621.892

А.Н. Котомчин
Приднестровский государственный университет имени Т.Г. Шевченко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ХРОМИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ

В статье проведено обоснование выбора способа восстановления деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании. В результате проведенных исследований было выявлено, что детали автомобилей, которые работают при гидроабразивном изнашивании, являются ресурсоопределяющими, которые влияют на стоимость эксплуатации автомобиля в целом. Поэтому проведенный анализ существующих способов восстановления выделил один из перспективных – хромирование. Дальнейшие исследования по использованию хромирования в качестве способа восстановления показали, что наиболее оптимальный состав электролита, отвечающий требованиям условий работы деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании, является новый состав холодного саморегулирующего электролита хромирования.

Гидроабразивное изнашивание, ресурсоопределяющие детали, износ, ресурс, оптимальный состав, электролит хромирования.

Введение

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 ведет к большим простоям в ремонте, при этом увеличивается себестоимость грузовых и пассажирских перевозок [1, 7].

Для повышения эффективности использования автомобилей необходимо содержать их в работоспособном состоянии. Это требует использования хорошо оснащенной ремонтно-обслуживающей базы за счет 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 до 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 автотранспортным 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 технической эксплуатации автомобилей [1, 6].

Мероприятия по поддержанию в работоспособном состоянии автомобилей можно достичь за счет организации работы по восстановлению деталей, за счет чего будет снижаться себестоимость ремонта агрегатов в целом. Кроме того, будет повышаться ресурс отремонтированных агрегатов, который можно произвести за счет сокращения затрат на новые запасные части, при которых будут снижаться расходы на эксплуатацию автомобилей на предприятиях в целом.

Проведенные академиком В.И. Черноивановым исследования по определению качества деталей автомобилей, которые восстанавливают и используют повторно, позволили получить, что наиболее часто доля однотипных деталей, которые годны для дальнейшего использования без ремонта, составляет 20÷45 %. При этом подлежащие ремонту и восстановлению составляют 40÷60 %, а не пригодных для восстановления 9÷20 % [4].

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 увеличение объемов восстановления деталей позволит существенно снизить затраты предприятий, экс-

плуатирующих автомобили, на приобретение новых запасных частей, и тем самым снизит себестоимость ремонта автомобилей. Данное утверждение обосновано из-за отсутствия централизованных поставок запасных частей, с увеличением количества «контрафактных» неоригинальных деталей автомобилей. Кроме того, существенное влияние на это оказывает отсутствие достаточного финансирования на снабжение и приобретение новых оригинальных запасных частей, у которых стоимость очень высокая из-за проблем с покупкой и доставкой [4, 12].

С целью высокого качества ремонта автомобилей возникает объективная необходимость организации работ, по восстановлению ресурсоопределяющих изношенных деталей. Для таких деталей есть необходимость восстанавливать их геометрический размер и форму с целью 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. [3].

Известно, что совершенствование способов восстановления деталей позволяет улучшать их как технические, так и эксплуатационные качества за счет использования современных приемов обработки и приработки после восстановительных операций, а также за счет улучшения геометрии посадочных и сопрягаемых деталей. Улучшения качества восстановленных деталей возможно достичь за счет повышения твердости и износостойкости рабочих поверхностей, которые можно сделать путем 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 достичь значения ресурса, превышающего исходно заявленное.

Теория

Обоснованию выбора рационального способа восстановления изношенных деталей посвящено множество работ, которые дают возможность заключить следующее [8]:

1. Выбор способа целесообразно выбирать 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.

Кроме перечисленных критериев при выборе способа восстановления деталей (рис. 1) автомобилей есть также еще требования, 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.

Известно, что в мире, в том числе в России и Приднестровье, на перевозку строительных грузов приходится 35–40 % от общего объема всех перевозок. В качестве автомобилей, используемых для данных грузов, наибольшую долю занимают специализированные автомобили (самосвалы, автокраны, цементовозы и т.п.) [11].

При этом использование специальных автомобилей имеет большое значение для экономики Приднестровья, а также России и стран СНГ. Так, в Приднестровье, как и во всем 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, которые связаны с увеличением нагрузки на силовые агрегаты и гидропривод. При проведении анализа надежности специальных автомобилей, используемых на коммунальных и дорожно-строительных предприятиях Приднестровья, было выявлено, что с использованием в дополнении рабочего оборудования надежность в целом снижается.

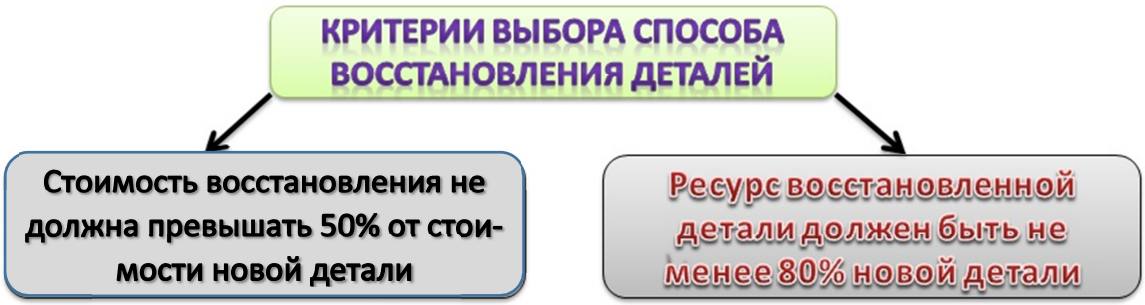


Рис. 1. Критерии выбора способа восстановления деталей автомобилей [4]

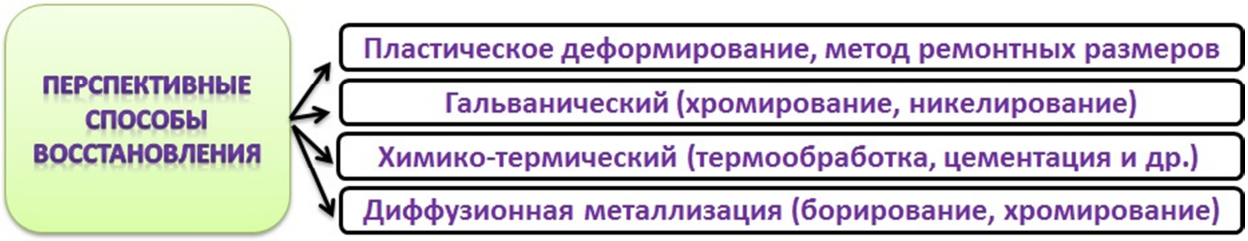


Рис. 2. Перспективные методы ремонта прецизионных деталей [7]

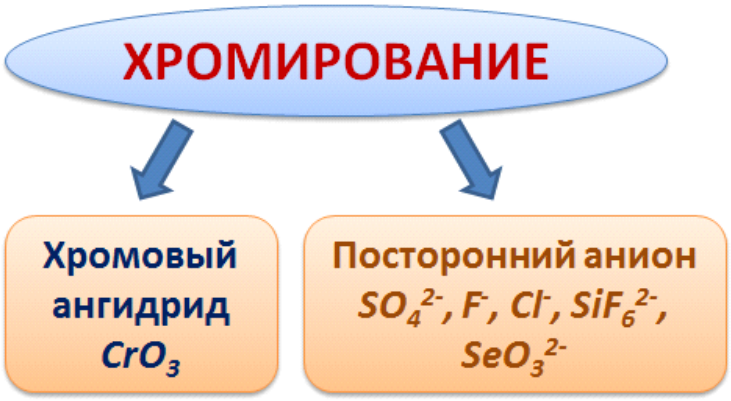


Рис. 3. Условие получения хромовых покрытий

В результате специфики работы деталей при гидроабразивном изнашивании необходимо учесть, предусмотреть и выбрать тот способ восстановления, который позволит исключить дефекты поверхностей, которые могут привести к потере работоспособности детали и надежности агрегата в целом (рис. 2). Поэтому при восстановлении деталей автомобилей предъявляются следующие требования [3]:

1. Толщина и шероховатость покрытия при восстановлении детали должна удовлетворять техническим требованиям.

2. Не должно быть трещин на рабочей поверхности деталей.

3. Стоимость восстановления детали не должна превышать 75–80 % от стоимости новой детали.

Так, согласно данным одним из перспективных способов восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании, в частности повышающих работоспособность гидрораспределителей в целом, является электролитическое хромирование (рис. 2).

Выполнен анализ литературных источников и ряда работ исследователей – было проанализировано использование электролитического хромирования в качестве восстановления деталей автомобилей. Установленно, что из-за сложности внедрения в производства и больших энергетических затрат широкого применения электролитическое хромиро-вание для восстановления деталей автомобилей не получило, в большей степени в качестве декара-тивных и антикоррозионных покрытий. Однако хромированные покрытия обладают следующими преимуществами [4, 5]:

- 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. 3).

При этом концентрация хромового ангидрида в электролите хромирования может варьироваться в пределах 50÷700 г/л. Особое значение для получения хромовых покрытий с определенным 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 [2, 8].

Использование электролитического хромирования в качестве восстановления деталей автомобилей ввиду положительных преимуществ, описанных выше, позволяет увеличивать ресурс деталей, особенно это касается деталей, которые имеют высокий остаточный ресурс. Однако широкое распространение для восстановления деталей автомобилей электролитическое хромирование не получило в виду малой толщины получаемых качественных покрытий (0,1÷0,3 мм) [3, 4].

Результаты исследований

Проведенные исследования современных автомобилей, а также прецизионных деталей показали, что предельные износы деталей узлов и агрегатов автомобилей, приводящие к потере работоспособности, находятся в пределах 0,1÷0,5 мм. 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 [9].

Так, при исследовании нового состава электролита хромирования получили результаты исследований, показанные на рисунке 4.

Выявлено, что при оптимальном сочетании в электролите солей сульфата никеля и кобальта с добавками плавиковой кислоты обеспечивается его устойчивая работа при температуре электролита 18÷35 ^{o}C и катодной плотности 75÷200 А/дм^2.

Исследованиями было выявлено, что при электролизе на постоянном токе из усовершенствованного электролита в широком диапазоне катодной плотности тока $Д_к$=75÷200А/дм^2 наблюдается сохранение высокого выхода хрома по току до 50 % и повышение микротвердости до 11500МПа (рис. 4, кривая 1 и 2) при более высоких рабочих температурах электролита, чем у базового (до 35 ^{o}C). Так, при электролизе при температуре 30÷35 ^{o}C наблюдаются постоянные значения выхода хрома по току (48,5±1 %), а микротвердость осадков составляет 8500…11500 МПа [10].

Скорость осаждения хрома в зависимости от плотности тока изменялась в пределах от 100 до 400 мкм/ч (рис. 4, кривая 3). При этом важно заметить, что при этих условиях электролиза значение выхода по току и микротвердости существенно не изменяется. Эти данные позволяют утверждать, что разработанный электролит обладает высокой кроющей и рассеивающей способностью.

Также был проведен металлографический анализ поверхности хромовых покрытий (рис. 5), который показал отсутствие микротрещин на поверхности. Можно предположить, что его можно использовать для восстановления деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании.

Изучалась микроструктура по толщине из электролита хромирования без добавки плавиковой кислоты, по результатам которой было установлено, что с увеличением плотности тока толщина качественного слоя осадка снижается (рис. 6а и б). По краям образцов появляются образования шероховатого, губчатого и порошкообразного осадка (при $Д_к$=150 А/дм^2), которые затем распространяются по всей поверхности покрытия.

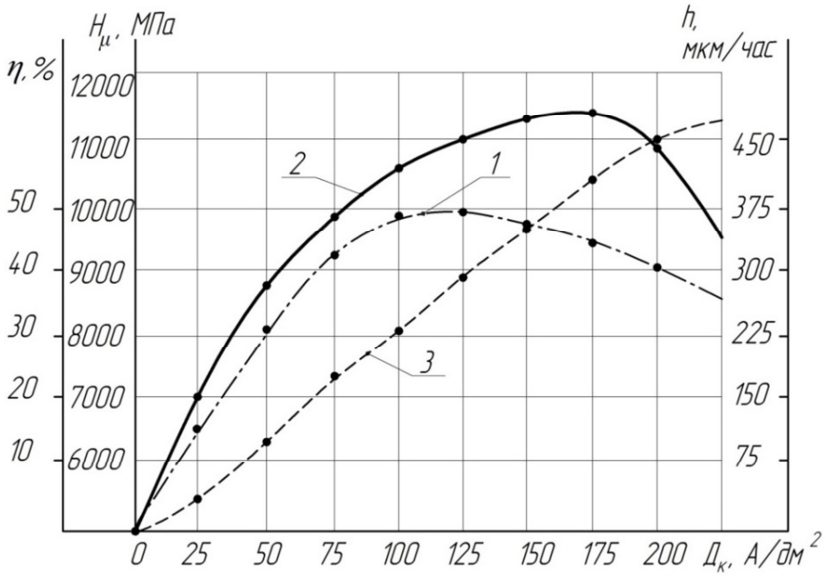
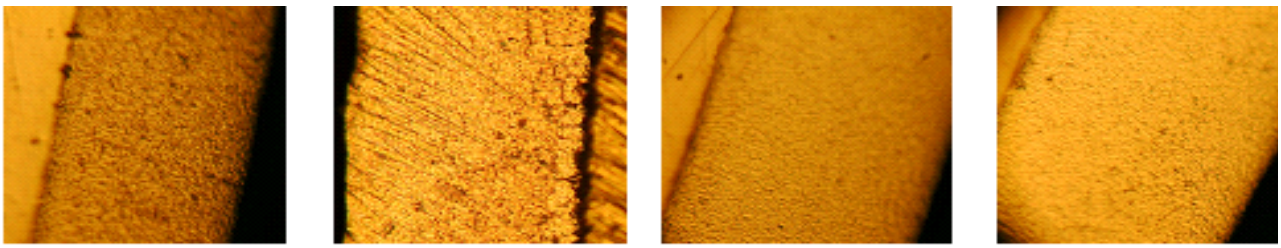


Рис. 4. Влияние катодной плотности постоянного тока на выход хрома по току (1), микротвердость покрытий (2) и скорость их осаждения (3) при температуре 30÷35 ^{o}C (электролит следующего состава: CrO_3 – 420, $CaCO_3$ – 50, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ – 10, $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ – 10 и HF – 0,8).

а б в

Рис. 5. Микроструктура хромовой поверхности: а – при $Д_к$=75 А/дм^2; б – при $Д_к$=150 А/дм^2; в – $Д_к$=200 А/дм^2



а б в г

Рис. 6. Микрошлифы хромированных образцов: а – без добавки HF, плотность тока 75 А/дм^2, толщина осадка 100 мкм; б – без добавки HF, плотность тока 100 А/дм^2, толщина осадка 150 мкм; в – с добавкой HF, плотность тока 75 А/дм^2, толщина осадка 180 мкм, г – с добавкой HF, плотность тока 100 А/дм^2, толщина осадка 225 мкм

Рис. 7. Результаты оптимизации состава электролита хромирования и режимов осаждения

При хромировании предлагаемым способом с добавкой плавиковой кислоты в диапазоне плотности тока 75÷200 А/дм^2 отмечена незначительная трещеноватость (рис. 6в, г). Трещины в слое, наблюдаемые по всему поперечному сечению хромового покрытия, – микроскопические, ориентированы в радиальном направлении. Они появляются с ростом толщины осадка, затем перекрываются новыми слоями хрома и «залечиваются».

Результаты по оптимизации электролита хромирования показаны на рисунке 7.

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

Выводы

В результате выполненных исследований были получены следующие результаты: исследованы условия электролиза и предложен способ высокопроизводительного хромирования в разработанном электролите, состава г/л: хромовый ангидрид – 420÷450; карбонат кальция – 50÷70, сульфат никеля – 10, сульфат кобальта – 10 и плавиковая кислота – 0,65÷0,9, обеспечивающий осаждение качественных покрытий толщиной более 200 мкм со скоростью 100÷400 мкм/ч, с выходом по току 46÷50 % и микротвердостью 8500÷11500 МПа, при температуре электролита 18÷35 °С и катодной плотности тока 75÷200 А/дм^2.

Данный способ позволит восстанавливать детали автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании (золотники гидрораспределителей, плунжера насосов) с необходимыми физико-механическими свойствами.

Литература

1. Артеменко, А. И. Обеспечение надежности при восстановлении деталей автомобилей и дорожно-строительных машин в Приднестровье / А. И. Арте-

менко // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник докладов 27-й Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию подготовки инженеров-механиков МИСИ-МГСУ, Москва, 26–27 апреля 2023 года. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 120–123.

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

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

4. 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.

5. 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 // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 7. – С. 49–56.

6. Котомчин, А. Н. Влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализирован-ного автотранспорта на ресурс их узлов и агрегатов / А. Н. Котомчин, Н. И. Корнейчук // Технический сервис машин. – 2019. – № 2(135). – С. 135–142.

7. Котомчин, А. Н. Восстановление деталей узлов и агрегатов техники, работающих при гидроабра-зивном изнашивании / А. Н. Котомчин, Е. Ю. Ляхов // Ремонт. Восстановление. Модернизация». – 2019. – № 5. – С. 8–12.

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

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

10. Патент № 2762695 C1 Российская Федерация, МПК C25D 3/04. способ электролитического хромирования : № 2020138102 : заявл. 20.11.2020 : опубл. 22.12.2021 / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин, А. Ф. Синельников ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет».

11. Янута, А. С. Анализ применения электролитов для получения электролитических сплавов Fe-Cr при восстановлении деталей машин и оборудования / А. С. Янута, Н. И. Корнейчук, А. Ф. Синельников // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2021. – № 3(69). – С. 101–106.

12. Янута, А. С. Применение гальванического покрытия сплава на основе железа для восстановления изношенных деталей дорожно-строительной техники / А. С. Янута // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12–13 мая 2022 года. – Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 585–589.

A.N. Kotomchin
Transnistria State University named after T.G. Shevchenko

USE OF ELECTROLYTIC CHROME PLATING FOR RESTORATION OF CAR PARTS OPERATING UNDER HYDROABRASIVE WEAR

The article provides a justification for the choice of a method for restoring car parts operating under hydroabrasive wear. As a result of the conducted research, it was revealed that car parts that work with hydroabrasive wear are resource-determining, which affect the cost of operating the car as a whole. Therefore, the analysis of existing restoration methods has highlighted one of the promising ones – chrome plating. Further research on the use of chrome plating as a recovery method has shown that the most optimal electrolyte composition that meets the requirements of the working conditions of car parts operating under hydroabrasive wear is a new composition of a cold self-regulating chromium plating electrolyte.

Hydroabrasive wear, resource-determining part, wear, resource, optimal composition, chromium plating electrolyte.