

ОДЕССКИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЛИТВИНОВ Николай Михайлович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ХРОМИРОВАНИЕМ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ  
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Специальность - С5.20.03 - Эксплуатация, восстановление  
и ремонт сельскохозяйственной техники

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1993

Работа выполнена на кафедре "Автомобильный транспорт"  
Одесского ордена Трудового Красного Знамени  
политехнического института

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор И.С.Бороницын,  
кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник В.М.Шапдулин

Официальные рецензенты:

доктор технических наук, профессор Соколов А.Д.,  
доктор технических наук, профессор Косов В.П.

Ведущее предприятие - ГИО "Облагропромтехника"

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00815159 (Т)

Защита диссертации состоится "18 июня 1993 г. в 14 ч  
на заседании специализированного Совета К. 120.91.01 при

Одесском сельскохозяйственном институте по адресу:  
270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 99

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "14 мая 1993 г.

Отзывы в двух экземплярах, с подписью, заверенной печатью,  
просьба направлять по адресу института, ученому секретарю

Ученый секретарь специализированного Совета,  
кандидат технических наук, профессор

К.И.Шмат

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Восстановление деталей автотракторной техники имеет важное народнохозяйственное значение. По данным ряда исследований около 75 % деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин имеют износ до 0,3 мм. Наиболее многочисленной группой деталей являются цилиндрические детали сравнительно небольших размеров: оси, пальцы, толкатели, валики, втулки, золотники и др. К данной номенклатуре деталей относятся плунжеры топливных насосов высокого давления /ТНВД/, которые изготавливают из дорогостоящих и труднообрабатываемых сталей ШХ15, ХВГ, Р9, Р18, ЗСХМ0А. Незначительный износ деталей плунжерной пары влияет на экономичность работы дизельных двигателей, а также ухудшает процессы смесеобразования и сгорания топлива, которые определяют динамические показатели и основные параметры рабочего процесса. Нарушение нормальной работы ТНВД отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях двигателя и долговечности деталей цилиндропоршневой группы, коленчатого вала и вкладышей подшипников.

Исследования, направленные на разработку технологического процесса и высокопроизводительной установки восстановления плунжеров ТНВД являются актуальными и своевременными.

Цель работы. Разработка и внедрение в производство высокоэффективной технологии и оснастки для восстановления цилиндрических деталей сравнительно небольших размеров, на примере плунжеров ТНВД методом электролитического хромирования в условиях их сложного движения в процессе нанесения гальванопокрытий.

Научная новизна работы. Теоретически и экспериментально обоснованы оптимальные гидродинамические параметры сложного движения деталей в процессе хромирования, обеспечивающие высокую скорость осаждения и равномерность покрытий.

Получена зависимость гидродинамических параметров сложного движения деталей от их диаметра, вязкости электролита и конструктивных особенностей разработанной установки.

Определена взаимосвязь физико-механических, эксплуатационных свойств хромовых покрытий и технологических параметров хромирования деталей в условиях их сложного движения в процессе нанесения гальванопокрытий.

Практическая ценность. Определены режимы процесса электролиза и оптимальные гидродинамические параметры, обеспечивающие получение равномерных и качественных хромовых покрытий. Разработаны и внедрены в производство установка, оснастка и технологический процесс восстановления плунжеров ТНВД.

Достоверность результатов экспериментальных исследований. Достоверность результатов достигалась использованием общепринятых и обоснованных методов исследований, современных приборов и оборудования, математическим планированием экспериментов, производственными поверками.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на:

- семинаре "Повышение коррозионных и физико-механических свойств хромовых покрытий", Пенза, 1986;
- научно-техническом семинаре "Интенсификация технологических процессов нанесения металлопокрытий гальваническим и химическим способами", Москва, 1987;
- Всесоюзной научно-технической конференции "Методы и технические средства обеспечения надежности сельскохозяйственной техники", Москва, 1988;
- научно-техническом семинаре "Экономика металлов в гальванотехнике", Ленинград, 1989;
- международном научном симпозиуме студентов и молодых научных работников, Зелена Гура /Польша/, 1989;
- семинаре по созданию малоотходных технологий в гальваническом производстве, Одесса, 1989;
- семинаре "Совершенствование процессов смешобразования и сгорания топлива в дизелях", Токмак, 1989;
- семинаре "Ускорение и экологизация процессов хромирования", Киев, 1989;
- семинаре "Совершенствование технологии гальванических покрытий", Киров, 1989;
- научно-техническом семинаре "Новое в технологии функциональных гальванических покрытий", Ленинград, 1990;
- дне специалиста "Прогрессивные технологические процессы гальванообработки деталей машин", Одесса, 1990;
- научно-практической конференции "Поверхностное упрочнение деталей машин и повышение срока их службы", Одесса, 1990;

- научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 1990.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ и получено 1 авторское свидетельство.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы, содержит 148 страниц машинописного текста, 10 таблиц, 45 рисунков и 7 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, определяется цель работы и кратко излагаются основные результаты исследований.

В первой главе анализируются условия работы, характер и величина износа плунжеров ТНВД. На основе оценки существующих методов восстановления плунжерных пар обоснованы преимущества применения электролитических хромовых покрытий, свойства которых удовлетворяют условиям работы хромированного плунжера с сопряженной с ним поверхностью втулки. Показаны основные направления совершенствования процесса хромирования и рассмотрены наиболее характерные способы хромирования: в стационарных ваннах, протоке, анодноструйный, возвратноструйный, эжекторный, эрлифтный, в условиях механического перемешивания электролита, в ультразвуковом поле и гальваномеханический.

Сравнительный анализ названных технологических приемов позволил сделать следующие выводы:

- повышение производительности процесса хромирования путем повышения плотности тока требует усиленного массообмена электролита в межэлектродном пространстве и применения различной технологической оснастки, работающей в контакте с электролитом;

- для обеспечения нанесения качественных хромовых покрытий, при небольших межэлектродных расстояниях, одному аноду, как правило, соответствует одна обрабатываемая деталь;

- принудительно направленное обновление электролита в межэлектродном пространстве сопровождается перемещением его в больших объемах, интенсивным испарением, нарушением концентрации и загрязнением.

Поэтому для восстановления и упрочнения цилиндрических деталей сравнительно небольших размеров предложена технология хромирования в условиях их сложного движения, когда они совер-

шают переносное движение по окружности и одновременно совершают относительное движение, то есть вращаются вокруг своих осей. При этом интенсивный массообмен в межэлектродном пространстве осуществляется за счет движения самой детали, а контакт технологической оснастки с электролитом снижен до минимума.

Оценка состояния вопроса позволила сформулировать следующие задачи исследования:

1. Провести теоретические исследования влияния сложного движения деталей в электролите на равномерность и производительность процесса осаждения хромовых покрытий.

2. Разработать установку хромирования деталей в условиях их сложного движения в процессе электролиза.

3. Исследовать основные физико-механические и эксплуатационные свойства хромовых покрытий, полученные в результате сложного движения деталей в электролите.

4. Разработать и внедрить в производство технологический процесс хромирования и установку для восстановления плунжеров ТНВД.

Во второй главе теоретически обоснована целесообразность применения сложного движения деталей в процессе осаждения хромовых покрытий. Установлена возможность получения зависимости между радиусом детали, переносной и относительной скоростями движения, учетом перемещения деталей по окружности, вязкости электролита и его скорости в межэлектродном пространстве, возникающей в результате движения деталей между внешним и внутренним анодами:

$$K = \frac{\nu_{эл}}{\nu_{в}} \cdot \frac{r \cdot \omega_{отн}}{R \cdot \omega_{пер} - u} = 1-6 \quad (1)$$

где  $\nu_{эл}$  и  $\nu_{в}$  - вязкость соответственно электролита и воды;  $r$  - радиус детали;  $\omega_{отн}$  - угловая скорость вращения детали вокруг своей оси;  $R$  - радиус по которому детали совершают переносное движение;  $\omega_{пер}$  - угловая скорость переносного движения деталей по окружности с радиусом  $R$ .

Изменение величины  $K$  от 1 до 6 позволяет регулировать положение зоны вихреобразования и концентрации газообразных продуктов электролиза, возникающей за движущейся деталью в пределах 90° и существенно влиять на изменение скорости электролита относительно поверхности хромируемой детали.

Для определения скорости движения электролита относительно поверхности детали, совершающей сложное движение в процессе хромирования, применена формула:

$$V_{\theta} = -2 \cdot (V_{\text{пер}} - U) \cdot \sin \theta - \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot z} \quad (2)$$

где  $\Gamma$  - циркуляция электролита;  $\theta$  - угол, характеризующий положение точки на поверхности детали, в пределах которой определяется скорость электролита.

Для выяснения наличия лобовой и кормовой точек разделения и соединения потока электролита, омывающего поверхность детали, принято, что  $V_{\theta} = 0$ . Из трех возможных случаев, особенностям сложного движения деталей в процессе хромирования удовлетворяет неравенство  $\Gamma < 4 \cdot \pi \cdot z \cdot (V_{\text{пер}} - U)$ , при котором положение лобовой и кормовой критических точек находится соответственно в пределах  $180^{\circ} < \theta_{\text{кр}1} < 270^{\circ}$  и  $270^{\circ} < \theta_{\text{кр}2} < 360^{\circ}$ . Учитывая возможное расположение областей у поверхности детали с минимальной скоростью осаждения покрытий, пределы расположения критических точек уменьшены до  $190^{\circ} < \theta_{\text{кр}1} < 210^{\circ}$  и  $330^{\circ} < \theta_{\text{кр}2} < 350^{\circ}$ . Определены значения  $V_{\theta}$  по длине окружности детали для различных значений углов  $\theta_{\text{кр}1}$  и  $\theta_{\text{кр}2}$  в рассматриваемых диапазонах. Для получения полной картины перемещения газообразных продуктов электролиза в потоке электролита у поверхности детали выполнено геометрическое сложение скоростей электролита и скорости подъема пузырьков. Установлено, что изменением параметров сложного движения деталей возможно совмещение областей, характеризующихся максимальной скоростью движения электролита относительно хромируемой поверхности с участками, где скорость осаждения хрома максимальна.

Для экспериментального уточнения расположения кормовой критической точки, зоны вихреобразования и характеризующих их параметров, разработано специальное устройство. Оно имеет две шкалы. По одной шкале определялось положение пластины-датчика относительно детали, а по другой шкале определялся угол поворота пластины-датчика относительно ее оси. Эксперименты показали, что существенное влияние на гидродинамику процесса хромирования оказывают: шероховатость, канавки, проточки, выступы и отверстия на поверхности детали, межэлектродное расстояние и форма анодов, а также возмущение электролита, создаваемое движущейся впереди деталью.

Установлено, что увеличение плотности тока, частоты вращения деталей и усилия прижатия щеток к токоприемным поверхностям валов, на которых крепятся хромируемые детали, способствует повышению температуры последних выше температуры электролита. Эксперименты показали, что для поддержания температуры деталей в заданном интервале, с изменением частоты вращения деталей от 100 до 250 об/мин необходимо изменение силы тока соответственно от 70 до 50 А, при общей площади токопередающих щеток  $6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  и усилия их прижатия 20 МПа. Определено, что при расстоянии между токоприемной поверхностью валов и электролитом 100 мм, а также разнице температур между ними 6–8 °С существенного изменения физико-механических и эксплуатационных свойств по длине детали не наблюдалось.

Разработана программа, которая позволяет оптимизировать параметры, влияющие на изменение температуры детали в условиях сложного движения в процессе хромирования.

В третьей главе представлена оптимальная конструкция установки, на которую получено авторское свидетельство №1254064/. Разработанная конструкция состоит из анодного устройства и непосредственно установки. Основными частями установки являются: привод, обеспечивающий переносное движение деталей по окружности определенного радиуса; привод, обеспечивающий относительно движение деталей, то есть вращение вокруг своих осей; система подпружиненных токопередающих щеток.

Конструкция установки позволяет:

1. Создавать интенсивное обновление электролита в межэлектродном пространстве в сочетании с плавным перемешиванием его в объеме ванны.
2. Снизить до минимума контакт технологической оснастки с электролитом, исключив применение насосов, трубопроводов, приборов контроля и регулировки подачи электролита.
3. Производить поиск оптимальных гидродинамических параметров и варьировать ими в большом диапазоне значений.
4. Осуществлять передачу тока на хромируемые детали в условиях их сложного движения в процессе электролиза.

При создании необходимых направлений скоростей, составляющих сложное движение, следует учитывать погрешность, возникающую в результате совпадения направлений вращений несущего диска, на котором расположены детали и центрального

зубчатого колеса, передающего через шестерни-сателлиты вращение вокруг своих осей хромируемым деталям /рис. 1/.

С учетом всех параметров, влияющих на процесс электролиза в условиях сложного движения деталей формула /1/ окончательно принимает вид:

$$K = \frac{V_{эл}}{V_{в}} \cdot \frac{\omega \cdot (\omega_{вш} \cdot \frac{Z_{шс}}{Z_{зк1}} \cdot \frac{Z_{зк2}}{Z_{вш}} - \frac{Z_{зк2}}{Z_{шс}} \cdot \omega_{нд})}{(R \cdot \omega_{нд} - U) \cdot K_d} \quad (3)$$

где  $\omega_{вш}$ ,  $\omega_{нд}$  - угловые скорости ведущей шестерни и несущего диска;  $Z_{шс}$ ,  $Z_{зк1}$ ,  $Z_{зк2}$ ,  $Z_{вш}$  - число зубьев соответственно шестерни-сателлита, верхнего венца центрального зубчатого колеса, нижнего венца центрального зубчатого колеса и ведущей шестерни;  $K_d$  - коэффициент учитывающий шероховатость, проточки, отверстия и выступы на поверхности детали, межэлектродное расстояние и форму анодов.

Оптимальные режимы процесса электролиза и гидродинамические параметры сложного движения деталей определяли на электрохимической ванне полупромышленного типа емкостью 216 л. Хромирование осуществляли в универсальном электролите: хромовый ангидрид - 250 г/л, серная кислота с удельным весом 1,84 и концентрацией 2,5 г/л, растворенные в дистиллированной воде. Образцы и детали обезжировали согласно ГОСТ 9.305-84. Образцы изготовлены из стали ШХ15, которая применяется для изготовления плунжеров ТНВД. Образцы подвергались термической обработке: закалке при температуре 850 °С и охлаждению в масле до 220 °С с последующим охлаждением на воздухе и затем старении в масляной ванне при температуре 140 °С в течение 12 ч и охлаждении на воздухе. Твердость образцов соответствовала НRC 58-60. Применялись образцы диаметром 8,5 мм, 12 мм, 17 мм и длиной 10 мм, 25 мм, 40 мм.

Для повышения производительности процесса электролиза, за счет увеличения количества одновременно обрабатываемых деталей, а также исключения образования "краевого эффекта" разработаны конструкции катодных подвесок, позволяющие хромировать плунжеры парами, где максимально использованы их конструктивные особенности - осевые и радиальные сверления.

С помощью математического планирования экспериментов получены уравнения регрессии, которые позволили определить степень влияния температуры электролита, плотности тока, межэле-

Схема установки хромирования с использованием сложного движения обрабатываемых деталей

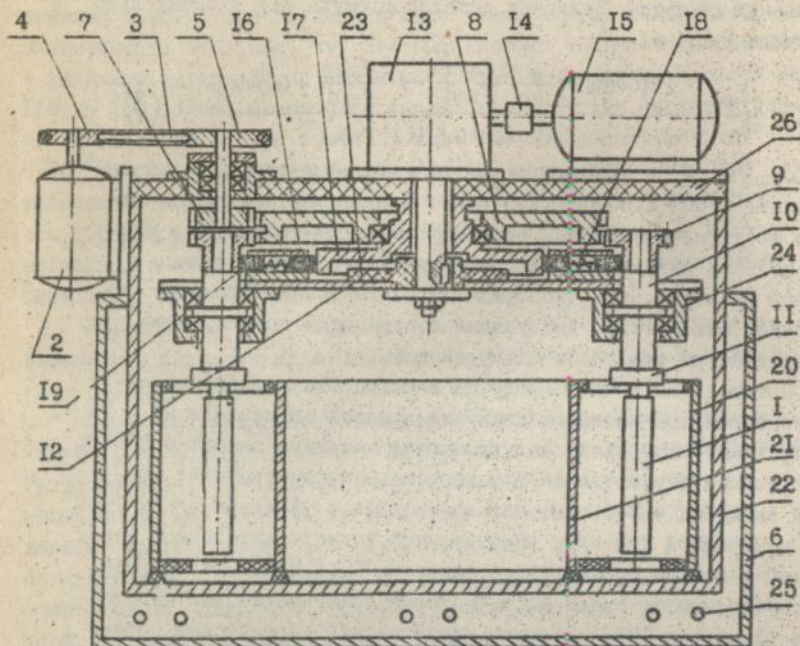


Рис. I

1 - хромируемая деталь; 2 - электродвигатель; 3 - ремень;  
 4 - ведущий шкив; 5 - ведомый шкив; 6 - водяная ванна;  
 7 - ведущая шестерня; 8 - центральное зубчатое колесо;,  
 9 - шестерня-сателлит; 10 - вал; 11 - переходник; 12 - несущий диск; 13 - редуктор; 14 - диэлектрическая муфта;  
 15 - электродвигатель; 16 - щетки-токоприемники; 17 - коллектор; 18 - токопровод; 19 - токопередающие щетки; 20 - внешний анод; 21 - внутренний анод; 22 - электролитическая ванна; 23 - опора; 24 - стакан; 25 - ТЭНы; 26 - диэлектрическое основание.

ктродного расстояния, скорости переносного движения и частоты вращения деталей на равномерность, скорость осаждения, микротвердость, наводороживание, сцепляемость и износостойкость электролитических хромовых покрытий.

В четвертой главе приведены исследования физико-механических свойств осадков хрома, полученных в условиях сложного движения деталей в процессе электролиза. Равномерность осаждения покрытий определялась как разность между максимальной и минимальной толщиной покрытия по длине детали. Измерения выполняли с помощью индикаторных скоб типа СИ-50, индикаторов типа ИЧ и микаторов типа ИИПМ с ценой деления 1 мкм. Скорость осаждения хрома определялась микрометрированием и расчетным методом, выход хрома по току — гравиметрическим методом. Взвешивание образцов до и после нанесения хрома производилось на аналитических весах ВЛА-200г-М. Микротвердость покрытий определялась с помощью микротвердомера ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76. Исследование микроструктуры электролитических хромовых покрытий осуществлялось на металлографическом микроскопе МИМ-3М. Количество водорода, содержащегося в хромированных образцах определялось способом термической десорбции Н-методом несущего газа с применением детектора теплопроводности. Внутренние напряжения изучались на установке "Пион" методом измерения прогиба образца с хромовым покрытием при послойном электролитическом стравливании нанесенного слоя. Деформация образца измерялась оптическим индикатором типа ОП-1 с ценой деления шкалы 1 мкм.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические предпосылки и тесную взаимосвязь равномерности осаждения покрытий по длине деталей от гидродинамических параметров сложного движения и режимов электролиза. Установлено, что при скорости переносного движения деталей 0,15-0,2 м/с, частоте вращения деталей 150-200 об/мин, плотности тока 80 А/дм<sup>2</sup>, температуре электролита 56 °С и толщине покрытий 100 мкм конусность на длине детали 120 мм практически не обнаруживается /Рис. 2/.

Основная причина высокой равномерности осаждения покрытия заключается в том, что равномерное удаление газообразных продуктов электролиза из межэлектродного пространства обеспечивает поддержание равномерного сопротивления электролита и равномерное распределение тока по длине обрабатываемых деталей.

Равномерность осаждения хромовых покрытий в зависимости от скорости переносного движения и частоты вращения деталей

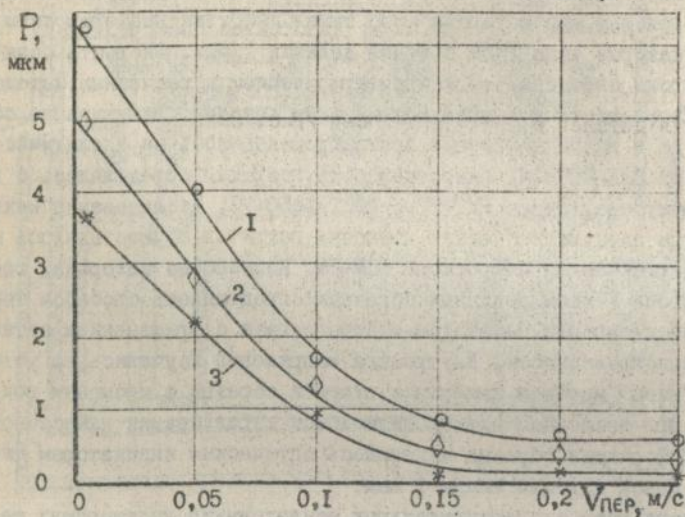


Рис. 2

$\Delta_k = 80 \text{ А/дм}^2$ ,  $t_{\text{эл}} = 56 \text{ }^\circ\text{С}$ ,  $A_{\text{кр}} = 17 \text{ мм}$ ,  $l_{\text{дет}} = 120 \text{ мм}$ .

1 -  $n = 100 \text{ об/мин}$ ; 2 -  $n = 150 \text{ об/мин}$ ; 3 -  $n = 200 \text{ об/мин}$ .

Определено, что интенсивное принудительно направленное об-новление электролита в прикатодной области в условиях сложного движения деталей способствует снижению концентрационных ограни-чений, ускоряет диффузию ионов хрома, уменьшает потери напряже-ния в электролите за счет снижения газонаполнения межэлектрод-ного пространства. При этом выход хрома по току составляет 26 %, а скорость осаждения хрома при плотности тока  $/D_k/ 100 \text{ А/дм}^2$ , скорости переносного движения деталей  $/V_{\text{пер}}/ 0,15 \text{ м/с}$  и частоте вращения  $/n/ 200 \text{ об/мин}$  достигает 120 мкм/ч. Особенность заключается в том, что получить такой выход хрома по току, при скорости переносного движения в 8-10 раз меньшей, чем в усло-виях возвратнотруйного хромирования, позволяет применение вращения деталей вокруг своих осей /Рис. 3/.

Изучение влияния условий электролиза на наводороживание осадков хрома показало, что движение электролита в прикатод-ной области способствует сокращению времени нахождения моле-кулярного водорода у поверхности деталей, при этом вращение их вокруг своих осей облегчает отрыв и удаление из зоны эле-ктролиза газообразных продуктов. Безотрывность обтекания значительной площади детали электролитом при скорости пере-носного движения деталей 0,1-0,15 м/с и частоте вращения 150-200 об/мин позволяет снизить наводороживание в 1,7-1,9 раза по сравнению с хромированием в стационарной ванне.

С повышением плотности тока от 50 до 80  $\text{А/дм}^2$ , при  $V_{\text{пер}} = 0,1 \text{ м/с}$  и  $n = 200 \text{ об/мин}$ , микротвердость повышается на 0,6 ГПа, а повышение температуры электролита от 55 до 70 °С снижает микротвердость на 1,8 ГПа. В условиях только перенос-ного движения  $/n = 0/$ , изменение его скорости от 0 до 0,2 м/с повышает микротвердость осадков хрома от 7,8 до 10,3 ГПа. Если  $V_{\text{пер}} = 0$ , то при изменении частоты вращения от 0 до 200 об/мин микротвердость повышается от 7,8 до 9,8 ГПа. При хромировании деталей в условии их сложного движения макси-мальная микротвердость 11,4 ГПа наблюдается при  $t_{\text{эл}} = 56 \text{ }^\circ\text{С}$ ,  $D_k = 80 \text{ А/дм}^2$ ,  $V_{\text{пер}} = 0,15 \text{ м/с}$  и  $n = 200 \text{ об/мин}$ . Дальнейшее увеличение составляющих сложное движение не оказывает значи-тельного влияния на повышение микротвердости электролитичес-ких хромовых покрытий.

С увеличением плотности тока от 50 до 95  $\text{А/дм}^2$  третино-ватость осадков хрома увеличивается. Дальнейшее увеличение

Скорость осаждения хромовых покрытий в  
зависимости от скорости переносного движения  
и частоты вращения деталей

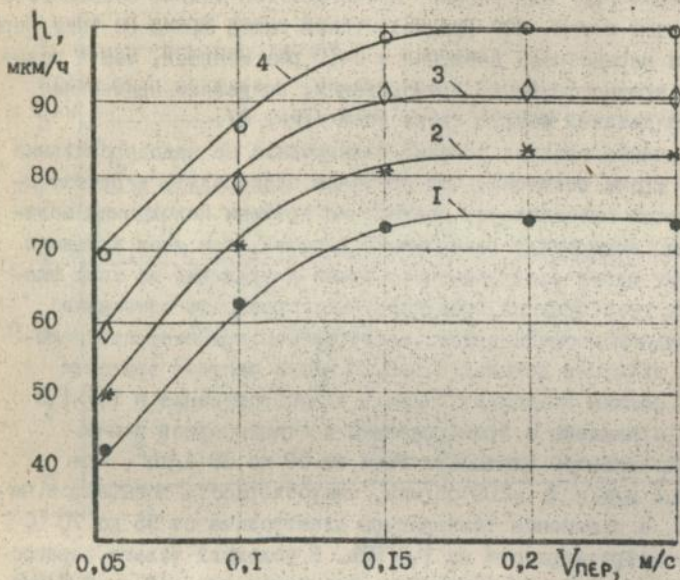


Рис. 3

$D_k = 80 \text{ A/дм}^2$ ,  $t_{\text{эл}} = 56 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $A_{\text{кр}} = 17 \text{ мм}$ .

1 -  $n = 50 \text{ об/мин}$ ; 2 -  $n = 100 \text{ об/мин}$ ; 3 -  $n = 150 \text{ об/мин}$ ;

4 -  $n = 200 \text{ об/мин}$

плотности тока на густоту трещин практически не влияет. С увеличением температуры электролита от 55 до 65 °С количество трещин снижается в 2,4 раза, а их длина составляет 45–50 мкм. При дальнейшем увеличении наблюдаются единичные трещины. С увеличением скорости переносного движения и частоты вращения деталей сетка трещин уменьшается и распределяется равномерно во всем объеме осадка, что характеризует плотноупакованную мелкокристаллическую структуру осадков хрома. При скорости переносного движения деталей более 0,25 м/с и частоте вращения 220 об/мин наблюдалось осаждение безтрещиноватых хромовых покрытий.

В пятой главе приведены исследования эксплуатационных свойств хромовых покрытий. Сцепляемость покрытий с основой определялась по потере веса образцов при их осаживании на 25 % первоначальной длины и соответствующих расчетов. Изучение износостойкости покрытий проводилось на машине трения СМЦ-2 согласно ГОСТ 23002-78. Абсолютный износ покрытия и контртел определялся путем взвешивания на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Ролики изготавливались из стали 45, а колодки – из стали 45 и серого чугуна СЧ-20. На гидроплотность плунжерные пары испытывались смесью дизельного топлива с веретенным маслом при температуре 18 °С, при этом нагрузка на плунжер соответствовала 200–5 кгс/см<sup>2</sup>. Определение величины износа и изменение геометрических параметров плунжеров осуществлялось с помощью индикаторной скобы типа СИ /ГОСТ II098-75/ и индикатором типа ИМИП /ГОСТ 9696-82/ с точностью 1 мкм. Соприкасаемая с плунжером поверхность втулки замерялась индикаторным нутромером типа QTL 7682-I /Германия/.

Анализ проведенных экспериментов показал, что повышение температуры электролита от 45 до 75 °С способствует увеличению прочности сцепления хрома с поверхностью детали с 68 до 91 %. Это объясняется увеличением зернистости осадка, вязкости хрома и уменьшением содержания водорода. Увеличение плотности тока от 50 до 150 А/дм<sup>2</sup> характеризуется уменьшением прочности сцепления на 9–11 %. С увеличением толщины осадков хрома от 50 до 100 мкм, полученных при температуре 56 °С, плотности тока 80 А/дм<sup>2</sup>, скорости переносного движения 0,15 м/с и частоте вращения деталей 200 об/мин, прочность сцепления снижается с 81 до 71 %. При толщине покрытия 150 мкм прочность сцепления равна 67 %. Уменьшение прочности сцепления осадков хрома с

увеличением толщины покрытий объясняется ухудшением сцепления отдельных зерен между собой. С увеличением скорости переносного движения деталей от 0 до 0,25 м/с и частоты вращения от 50 до 200 об/мин прочность сцепления снижается от 2 до 8 %. При увеличении анодно-катодного расстояния от 15 до 25 мм, при прочих равных условиях, прочность сцепления снижается на 5-7 %.

Установлено, что с повышением плотности тока износостойкость увеличивается, а с повышением плотности тока - снижается. При чем, при температуре электролита 50 °С минимальный износ наблюдается при плотности тока 50 А/дм<sup>2</sup>. При температуре электролита 60 °С минимальное значение износа смещается в сторону более высоких плотностей тока - 85 А/дм<sup>2</sup>. С увеличением скорости переносного движения и частоты вращения деталей наблюдалось снижение износа, при этом минимальный износ получен при  $n = 200$  об/мин и  $V_{пер} = 0,15$  м/с, что объясняется мелкокристаллической структурой хромовых покрытий, полученных при данных гидродинамических параметрах.

Разборка ТНВД, наработавших с восстановленными плунжерными парами I450-I700, выявила отсутствие сколов хрома, крупных царапин и следов коррозии на поверхности плунжеров. Замеры показали, что износ плунжеров не превышает 1 мкм, в то время как износ серийных плунжеров составил 4-7 мкм за тот же период работы. При этом износ рабочих поверхностей втулок, работающих в контакте с хромированными плунжерами в 3-4 раза меньше, чем при работе с серийными, выполненными из стали ХВГ и ШХ15. Гидроплотность исследуемых плунжерных пар находилась в пределах 23-25 с.

Сравнительные испытания плунжерных пар ТНВД подтвердили целесообразность применения электролитического хромирования и использование установок со сложным движением хромируемых деталей для восстановления и упрочнения рабочей поверхности плунжеров, что позволяет увеличить долговечность плунжерных пар в 3-4 раза и обеспечит безаварийную работу ТНВД в течении трех сезонов.

Шестая глава посвящена разработке установки и технологического процесса нанесения электролитических хромовых покрытий на цилиндрические детали сравнительно небольших размеров. Приводятся операции и режимы механической обработки плунжеров до и после нанесения покрытий.

Технологический процесс восстановления плунжеров ТНВД

электролитическим хромированием включает в себя следующие основные операции:

1. Мойка и дефектовка плунжеров.
2. Предварительная доводка и разбивка на ремонтные группы.
3. Чистовая доводка и промывка плунжеров.
4. Сборка и крепление катодных подвесок на валы установки.
5. Химическое обезжиривание, в горячей /60–80 °С/ и холодной /18–20 °С/ воде.
6. Анодная активация рабочих поверхностей плунжеров, подвергаемых хромированию:  $D_A = 40 \text{ А/дм}^2$ ,  $t_{эл} = 55–57 \text{ °С}$ ,  $\tau = 30 \text{ с}$ ,  $V_{пер} = 0,15 \text{ м/с}$ ,  $n = 200 \text{ об/мин}$ .
7. Электролитическое хромирование плунжеров:  $D_K = 80 \text{ А/дм}^2$ ,  $t_{эл} = 55–57 \text{ °С}$ ,  $V_{пер} = 0,15 \text{ м/с}$ ,  $n = 200 \text{ об/мин}$ .
8. Монтаж установки на сборник электролита.
9. Промывка катодных подвесок в горячей /60–80 °С/ и холодной /18–20 °С/ воде.
10. Демонтаж и разборка катодных подвесок.
11. Контроль качества покрытий.

Экономическая оценка от внедрения установки и технологического процесса восстановления плунжеров ТНВД электролитическим хромированием в условиях сложного движения и механической обработкой втулок показала, что себестоимость восстановления данным способом в 1,6 раза ниже, чем при хромировании в стационарных ваннах и в 2,7 раза ниже стоимости серийных плунжерных пар.

Даны конструктивно-технологические особенности промышленной установки хромирования деталей в условиях их сложного движения в процессе электролиза и производственные рекомендации.

#### ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден способ интенсификации процесса электроосаждения хрома и получения равномерных осадков хрома в условиях сложного движения деталей.

2. Создание сложного движения хромируемых деталей и раздельного изменения его составляющих обеспечивается специально разработанной установкой, конструкция которой защищена авторским свидетельством № 1254064. Применение сложного движения деталей в процессе электролиза позволяет осуществлять интенсивный

принудительно направленный массообмен электролита в межэлектродном пространстве без применения кислотостойких насосов, приборов контроля, регулировки подачи электролита и трубопроводов.

3. Установлена зависимость между конструктивными параметрами установки, скоростями переносного и относительного движений деталей, их радиусом и конструктивно-технологическими особенностями, вязкостью и скоростью движения электролита в межэлектродном пространстве.

4. Определено, что варьированием значений скоростей переносного и относительного движений можно обеспечить безотрывное обтекание электролитом поверхности хромируемой детали. При этом располагать зону вихреобразования, точки разделения и соединения потока электролита обтекающего деталь в областях, характеризующихся минимальной скоростью осаждения и совмещать участки, где скорость осаждения покрытий и скорость движения электролита имеют максимальные значения.

5. Установлено, что в условиях сложного движения конусность на длине детали 120 мм практически не обнаруживается, максимальная твердость равна 11,4 ГПа, наводоржжение снижено в 1,9 раза по сравнению с хромированием в стационарной ванне, при этом выход хрома по току составляет 26 %, а скорость осаждения при плотности тока  $100 \text{ А/дм}^2$  и температуре электролита  $56^\circ \text{C}$  составляет  $120 \text{ мкм/ч}$ .

6. Для повышения производительности процесса хромирования и исключения образования "краевого эффекта" разработаны конструкции катодных подвесок, позволяющие соединять плунжеры парами.

7. Установлены следующие оптимальные режимы хромирования плунжеров ТНВД в условиях их сложного движения в процессе электролиза:  $D_{\text{к}}=20 \text{ А/дм}^2$ ,  $t_{\text{эл}}=56^\circ \text{C}$ ,  $V_{\text{пер}}=0,15 \text{ м/с}$ ,  $n=200 \text{ об/мин}$ .

8. Разработана, изготовлена и принята к внедрению в Беляевском районном объединении "Агропромтехника" Одесской области установка хромирования со сложным движением обрабатываемых деталей в процессе электролиза и технологический процесс хромирования плунжеров ТНВД. При этом себестоимость восстановления деталей данным способом в 1,6 раза ниже, чем при хромировании в стационарной ванне и в 2,7 раза ниже стоимости серийных плунжерных пар.

9. Анализ перспектив применения установок с использованием сложного движения деталей в процессе гальванообработки пока-

зал. что данный способ может стать ключевым звеном в создании высокопроизводительных роторно-конвейерных линий для восстановления золотников гидрораспределителей, пальцев, осей, валиков, толкателей и других цилиндрических деталей сравнительно небольших размеров.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А. с. СССР № 1254064. Устройство для нанесения гальванических покрытий /Одесс. политехи. ин-т: Авт. изобр. Н.М.Литвинов, И.С.Вороницын, С.И.Кобылянский, В.И.Барановский. Заявл. 19.12.84, № 3845376/22-02; Опубл. в В. И. № 32; М. кл. С 25 Д 17/00. - УДК 621.357.14.002.52/036.8/.

2. Барановский В.И., Литвинов Н.М. Роторная установка для высокопроизводительной гальванической обработки деталей. Информационный листок о научно-техническом достижении № 86-082. Одесса, ОЦНТИ, 1986. - 4 с.

3. Литвинов Н.М. Влияние сложного движения катодных подвесок на равномерность и дегазацию хромовых покрытий. - В сб.: Интенсификация технологических процессов нанесения металлопокрытий гальваническими и химическими способами. Материалы семинара. М.: МДНП, 1987. - с. 50-54.

4. Барановский В.И., Литвинов Н.М. Прогрессивный технологический процесс восстановления изношенных деталей автотракторной техники гальваническим хромированием. - В сб.: Совершенствование технологии гальванических покрытий. Тезисы докладов. - Киров, КПМ, 1989. - с. 47-48.

5. Барановский В.И., Литвинов Н.М. Классификация деталей автотракторной техники, упрочняемых и восстанавливаемых электролитическими хромовыми покрытиями. Том 3 - Механика: материалы международного научного симпозиума студентов и молодых научных работников. - Зелена Гура /Польша/, 1989. - с. 46-52.

6. Барановский В.И., Литвинов Н.М. Основные проблемы повышения эффективности и качества электролитического хромирования деталей машин. В кн.: Новое в технологии функциональных гальванических покрытий. Материалы семинара. - Л.: ДДНП, 1990. - с. 49-52.

7. Барановский В.И., Литвинов Н.М. Повышение эффективности и качества электролитического хромирования деталей машин. В помощь лектору и специалисту. - Киев, РДНП, 1990. 12 с.

465658

АВ 27.555  
**АВ 27.555**

Подп. к печ. 12.05.63 Формат 60 x 84<sup>I</sup>/16  
Объем 1.0 п.л. Зак. 98 Тир. 120 Р-т ОСИИ