

3. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
4. Василевский, И. Н. Повышение эксплуатационных свойств деталей машин наплавкой паст в электромагнитном поле / И. Н. Василевский и др. // Агропанорама. – Мн., 2003. – № 4. – С. 11 – 12.
5. Постоянные магниты: Справочник / А. Б. Альтман, Э. Е. Верниковский, А. Н. Герберг и др.; Под ред. Ю. М. Пятина. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.
6. Арнольд, Р. Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. – М.: Энергия, 1969. – 184 с.
7. Иродов, И. Е. Основные законы электромагнетизма: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.
8. Теория сварочных процессов / Волченко В. Н., Ямпольский В. М., Винокуров В. А. и др.; Под ред. В. В. Фролова – М.: Вышш. шк., 1988. – 559 с.
9. Пустовойт, С. В. Совершенствование дуговой сварки электромагнитными методами // Автоматическая сварка. – К., 2000. – № 1. – С. 39 – 42.
10. Корольков, П. М. Причины возникновения магнитного дутья при сварке и способы его устранения // Сварочное производство. – М., 2004. – № 3. – С. 38 – 40.

Аннотация

Технологический процесс нанесения защитных покрытий с использованием электрических разрядов энергии постоянных магнитов

В статье рассматриваются технологические методы упрочнения и восстановления деталей автотракторной техники в электрическом и магнитном полях.

Abstract

Technological process of drawing of sheetings with use of electric categories of energy of constant magnets

In article technological methods of hardening and restoration of details of autotractor technics in electric and magnetic fields are considered..

УДК 621.793.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЦАР ТРЕНИЯ К ВОДОРОДНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ

Зеленин В.А., д.т.н., **Маршина Е.А.**, аспирант
*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Введение. «Трение – удивительный феномен природы! Оно подарило человечеству тепло и огонь, возможность в короткое время остановить скоростной поезд и автомо-

биль, ускорить химическую реакцию в сто тысяч раз, записать человеческий голос на пластинку, услышать звуки скрипки и многое другое», – так охарактеризовал трение Д.Н. Гаркунов [1].

Однако, говоря о трении, как правило, подразумевают явление, приводящее к износу деталей машин и механизмов. При этом затраты на восстановление их работоспособности, повышенный расход топливно-смазочных материалов, связанные с износом пар трения, ежегодно увеличиваются.

Согласно данным, приведенным в работе [2], больше половины топлива, потребляемого автомобилями, тракторами, тепловозами и другими видами транспорта, расходуется на преодоление сопротивления сил трения в соединениях. В текстильном производстве на преодоление сил трения затрачивается около 80% потребляемой электрической энергии. Низкие коэффициенты полезного действия (КПД) большинства устройств обусловлены, главным образом, потерями на трение. Так, КПД глобоидного редуктора, устанавливаемого в лифтах, металлорежущем оборудовании, шахтных подъемниках и др., даже после приработки составляет только 0,65-0,70, а в такой распространенной паре, как винт – гайка, и того меньше, всего лишь 0,25.

Развитие техники и, в частности, машиностроения, придало проблеме повышения долговечности машин огромную значимость с точки зрения экономии материальных ресурсов и рабочей силы. Теория и инженерная практика повышения износостойкости и надежности работы пар трения, располагая большим количеством важных качественных зависимостей, результатов экспериментальных исследований и наблюдений, обладают значительными возможностями существенного повышения сроков службы машин [1].

Открытие явлений избирательного переноса и водородного изнашивания, которые установлены всего лишь 20-35 лет назад А.А. Поляковым, Д.Н. Гаркуновым, Г.П. Шпеньковым и В.Я. Матвиенко [1,3], заставило пересмотреть устоявшиеся представления о процессах трения и изнашивания.

Основная часть. Водородное изнашивание представляет собой процесс, ускоряющий разрушение поверхностей трения. Трение способствует образованию диффузионно-способного атомарного водорода из смазочного материала, топлива, пластмасс, паров воды и других материалов. Водородное изнашивание включает следующие процессы, происходящие в зоне трения [1]: интенсивное выделение водорода при трении в результате трибодеструкции водородсодержащих материалов; адсорбция водорода на поверхностях трения; диффузия водорода в деформируемый слой стали, скорость которой определяется градиентами температур и напряжений, что создает эффект накопления водорода в процессе трения; особый вид разрушения поверхности, связанный с одновременным развитием большого числа зародышей микротрещин по всей зоне деформирования. Проникновение водорода в стальные детали приводит к уменьшению их поверхностной прочности, пластичности, ударной вязкости, и в итоге вызывает ускоренное изнашивание поверхностей трения.

Водородное изнашивание обнаруживается в узлах трения машин, работающих в разных отраслях промышленности и по широте проявления сравнимо с абразивным изнашиванием [2].

Практически все поверхности трения стальных и чугуновых деталей содержат повышенное количество водорода и, следовательно, подвержены повышенному изнашиванию. Наличие в воздухе паров воды создает благоприятные условия для водородного изнашивания, не говоря уже о разложении в зоне контакта смазочного материала, топлива или пластмасс. Источником водорода при наводороживании может быть и водород, растворенный в металле при его выплавке в доменном процессе из влаги дутья. В связи с вышесказанным при планировании экспериментальных исследований пар трения необходимо

тщательно подходить к подготовке поверхностей образцов, условиям их нагружения, выбору смазочных материалов и др. [4]

Комплексное исследование механизма водородного изнашивания представляет актуальную задачу, как в теоретическом плане, так и в плане разработки и реализации в промышленности новых методов борьбы с износом машин и оборудования. Согласно Д.Н. Гаркунову [4], исходя из известных представлений о водородном изнашивании, необходимо проводить работы в таких направлениях, как разработка приборов и методов исследования водородного изнашивания деталей машин, изучение процессов наводороживания металлов при трении с фрикционными пластмассами, изучение свойств наводороженного металла при трении, влияние режимов трения на наводороживание, исследование влияния силовых полей на процессы наводороживания при трении с целью разработки новых путей борьбы с водородным изнашиванием, разработка методов подавления водородного изнашивания деталей сельскохозяйственной техники.

Известно, что при одновременном воздействии на стальные детали механических нагрузок и кислых коррозионных сред к разрушению приводит не столько анодный процесс растворения металла, сколько катодный процесс выделения водорода на его поверхности, сопровождающийся наводороживанием металла. Поглощенный водород может внести существенные изменения в структуру металла, такие как обезуглероживание, разрыхление границ зерен, образование микро- и макротрещин, приводящих к хрупкому разрушению металла. В последние годы большинство исследователей склоняется к мнению, что внедрение водорода в металл осуществляется через стадию его адсорбции, которая, в свою очередь, в сильной степени зависит от физико-химического состояния поверхности металла.

В настоящей работе приведены результаты исследований механических свойств стали 08кп в зависимости от состояния поверхности образцов и степени их наводороживания. Полосы размерами $80 \times 30 \times 4$ мм вырезали из листа холоднокатаной стали, отжигали в вакууме $1 \cdot 10^{-2}$ Па при 950 °С в течение 2-х ч для получения крупнозернистой микроструктуры и электрополировали до получения зеркальной поверхности. Затем образцы прокатывали в сухих обезжиренных валках $\varnothing 400$ мм за один проход и по дробному режиму со степенями деформации ϵ в пределах 0 -70 %. Образцы для испытания на растяжение вырезали вдоль направления прокатки и фрезеровали в размеры согласно ГОСТ 1497-73. Наводороживание производили катодной поляризацией образца в 5%-ном водном растворе серной кислоты с помощью потенциостата П-5827 в гальваностатическом режиме при плотности тока, равной 40 мА/см^2 , в течение 40 мин. Схема установки для наводороживания образцов представлена на рисунке 1. Испытания наводороженных образцов проводили методом растяжения на 2,5-тонной машине типа «Шоппер».

В результате исследований было установлено, что относительное удлинение образцов, прокатанных как за проход, так и по дробному режиму, резко уменьшается с ростом степени деформации и достигает при $\epsilon > 50$ % 1-2 %. Наводороживание в связи с этим не вызывает заметного уменьшения относительного удлинения при высоких степенях деформации, но оказывает существенное влияние на прочностные свойства металла. Как следует из рисунка 2, предел прочности стали 08кп при прокатке за один проход проходит через максимум при $\epsilon = 45$ % и при дальнейшем увеличении степени деформации медленно снижается. Наводороживание образцов, прокатанных с малыми обжатиями, несколько повышает их предел прочности. Однако при степени деформации $\epsilon > 40$ % наблюдается резкое снижение предела прочности металла. Зависимость предела прочности стали 08кп от степени деформации при дробной прокатке близка к линейной (рисунок 2, б).

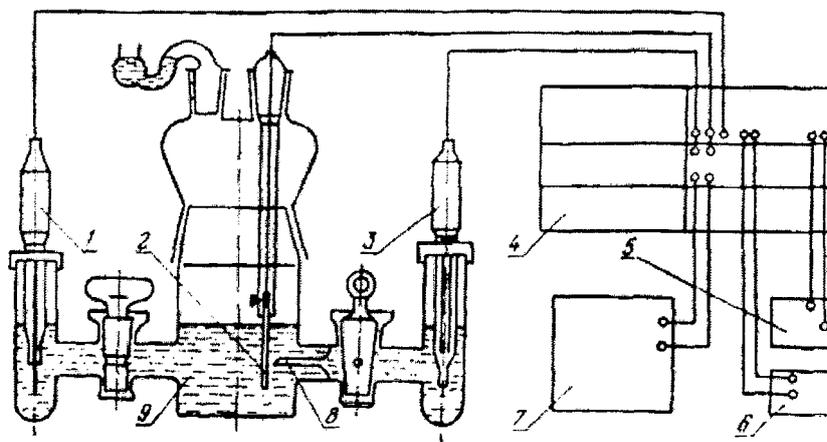


Рисунок 1 – Схема установки для наводороживания образцов: 1 – вспомогательный платиновый электрод; 2 – исследуемый образец; 3 – электрод сравнения; 4 – потенциостат П-5827; 5 – миллиамперметр; 6 – микроамперметр; 7 – самописец КСП-4; 8 – капилляр Луггина-Габера; 9 – электролитическая ячейка

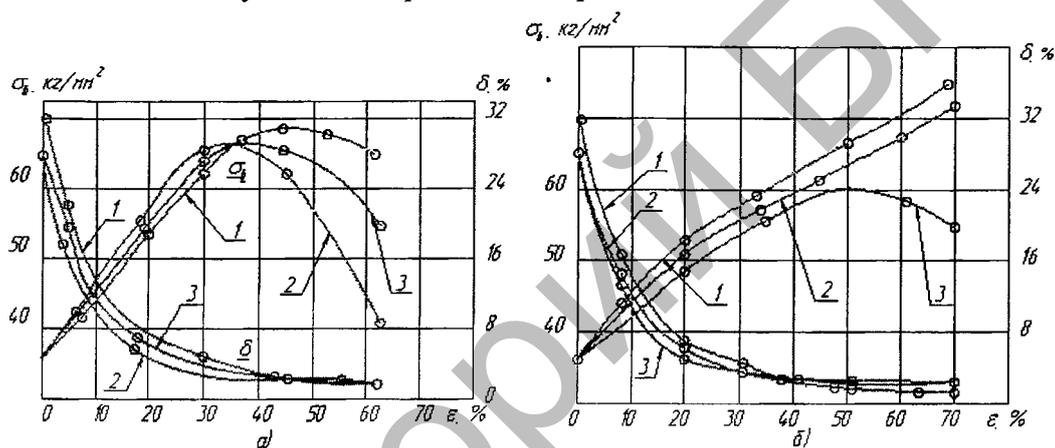


Рисунок 2 – Влияние наводороживания на механические свойства стали 08кп: а – прокатка за один проход; б – дробная прокатка; 1 – исходные холоднокатаные образцы; 2 – образцы после прокатки и наводороживания; 3 – образцы наводороженные после удаления поверхностного слоя металла электрополировкой

Наводороживание в этом случае приводит к незначительному уменьшению предела прочности во всей области исследованных величин суммарных обжатий металла.

Для выяснения влияния состояния поверхностного слоя полосы после прокатки на наводороживание производили удаление поверхностного слоя электрополировкой. Установлено, что предел прочности наводороженных после электрополировки образцов, прокатанных за один проход, увеличился по сравнению с образцами, наводороженными непосредственно после прокатки, в то время как для образцов, прокатанных по дробному режиму, наблюдалось снижение предела прочности, особенно заметное при больших суммарных обжатиях металла. Полученные результаты можно объяснить зависимостью адсорбционной способности поверхности металла от степени деформации и от режимов прокатки. Повышение адсорбционной способности металла с увеличением степени деформации при прокатке за один проход увеличивает концентрацию адсорбированных атомов водорода на его поверхности, что способствует более интенсивному внедрению водорода в металл. При малых степенях деформации искажение кристаллической решетки металла за счет внедрения атомов водорода вызывает упрочнение металла, о чем свидетельствует некоторое повышение пре-

дела прочности и снижение относительного удлинения наводороженных образцов. Значительное увеличение скорости проникновения водорода в металл при больших обжатиях вызывает разрушение кристаллической решетки в местах скопления водорода и образование микротрещин, что приводит к значительному снижению предела прочности металла.

Удаление поверхностного слоя металла электрополировкой уменьшает скорость проникновения водорода в металл как за счет снижения шероховатости поверхности, так и за счет снижения плотности активных мест на ней, являющихся центрами адсорбции водорода. Предел прочности металла снижается в этом случае при наводороживании в значительно меньшей степени (рисунок 2,а).

Результаты изменения механических свойств стали 08кп при дробной прокатке могут быть объяснены образованием при прокатке мелкоблочного высокодисперсного поверхностного слоя, препятствующего проникновению водорода в металл. Удаление этого слоя электрополировкой приводит к более интенсивному наводороживанию металла и снижению его прочности.

Следует отметить, что среди предлагаемых методов борьбы с водородным изнашиванием, наравне с магнитными, электрохимическими методами защиты, подбором материалов деталей с необходимыми легирующими элементами и т.п., особое место занимает метод введения в материалы медьсодержащих добавок, которые реализуют режим избирательного переноса (ИП). Открытие ИП, или «эффекта безызносности», принадлежит советским ученым Д.Н. Гаркунову и И.В. Полякову. Ими было обнаружено явление самопроизвольного образования тонкой пленки меди в парах трения бронза-сталь деталей самолетов, работающих в спиртоглицериновой смазочной среде. Особенностью эффекта было то, что пленка покрывала не только бронзовую деталь, но и сопряженную с ней стальную поверхность. При этом пленка меди толщиной в несколько микрон снижала износ и уменьшала силу трения на порядок [2].

ИП при трении – явление по своему характеру противоположное изнашиванию. Процессы в зоне контакта при избирательном трении носят созидательный характер, необратимы и относятся к самоорганизующимся процессам неживой природы. Ряд проявлений ИП можно обнаружить и в живой природе. Оказывается, суставы живых организмов функционируют на принципах самонастраивающихся подвижных соединений. Простейшие схемы работы сустава человека и пары трения бронза-сталь в условиях ИП достаточно близки [1-3]. В суставе работают два мягких хряща, покрывающих костную ткань и разделенных полимерной («сервовитной») пленкой. В качестве смазывающей среды выступает синовиальная жидкость.

Образование самоорганизующейся системы, которая сама регулирует процессы износа и восстановления трущихся поверхностей, возможно путем введения необходимых компонентов в смазочный материал или другие технические среды (топливо, охлаждающую жидкость и др.). Подобный принцип положен в основу разработки и применения «металлоплакирующих присадок» [2]. В своем составе подобный смазочный материал содержит маслорастворимые соли плакирующих металлов, органические кислоты, поверхностно-активные и некоторые другие вещества. В качестве плакирующих металлов используют медь, хром, алюминий, олово, цинк, железо, свинец, серебро, а в качестве органических кислот – олеиновую ($C_{17}H_{33}COOH$), щавелевую и другие кислоты.

В работах классиков избирательного переноса (Д. Н. Гаркунов, И. В. Крагельский, Л. М. Рыбакова, А. С. Кужаров, Р. Марчак, Г. Польшер, А. А. Поляков и др.) доказано, что эффект ИП не универсален в отношении условий трения [2]. Для его реализации необходимо наличие в системе трения медьсодержащего металлоплакирующего комплекса. Кроме того, на ИП влияют применяемые конструкционные и смазочные материалы, скорости скольжения, нагрузки и температуры трения. Ограничения по скорости скольжения связаны с существованием оптимальной скорости деформации материала поверхностного слоя, при которой максимально проявляется эффект адсорбционного понижения прочности. Ог-

раничения по температуре связаны с десорбцией поверхностно-активных веществ (ПАВ) металлоплакирующего комплекса при увеличении температуры и усилении коррозионных процессов.

В работе [2] определены следующие факторы, обуславливающие безызносность:

- контактирование поверхностей происходит через мягкий слой металла, основной металл испытывает пониженное (в 10 раз) давление;
- металлическая пленка при деформации в процессе трения не наклёпывается и может многократно деформироваться без разрушения;
- трение происходит без окисления поверхностей, эффект Ребиндера (снижение сопротивления деформированию и разрушению твердых тел в результате адсорбции поверхностно-активных веществ) реализуется в большей степени;
- продукты износа переходят с одной трущейся поверхности на другую и обратно, в зоне трения продукты износа удерживаются электрическими силами.

Несмотря на сложность организации ИП, он позволяет преодолеть ограниченность ресурса трущихся сочленений машин и снизить потери на трение. ИП представляет собой особый вид трения, который обусловлен самопроизвольным образованием в зоне контакта неокисляющейся тонкой металлической, так называемой, сервовитной пленки с низким сопротивлением сдвигу и неспособной наклёпываться. На сервовитной пленке, в свою очередь, может сформироваться прочно связанная с ней полимерная пленка смазочного материала, которая создает дополнительный антифрикционный слой.

Организация ИП в парах трения позволяет [2, 3]:

- повысить износостойкость деталей и узлов трения;
- увеличить долговечность (межремонтный ресурс и общий срок службы) узлов и агрегатов;
- снизить расход топлива и затраты на смазочные материалы;
- сократить период приработки двигателей, агрегатов трансмиссии, соответственно сократить расход электроэнергии;
- повысить безотказность техники в тяжелых условиях эксплуатации (высокие ударные и скоростные нагрузки, перегрев агрегатов, «холодный пуск» двигателей, обводнение, наличие механических примесей в масле, некачественные смазочные материалы и т.п.);
- повысить КПД глобоидных редукторов с 0,7 до 0,85; винтовой пары с 0,25 до 0,5;
- уменьшить уровень шума и вибрации агрегатов техники;
- увеличить экономию драгоценных металлов (золота, платины, серебра) в приборах в 2-3 раза за счет большей надежности электрических контактов и др.

Весьма полезным свойством ИП является также свойство работать в средах, где трение при граничной смазке не может эффективно выполнять свои функции. Избирательный перенос проявляет способность перестройки защитных систем, которые варьируются в зависимости от свойств среды, являющейся исходным материалом для образования системы снижения износа и трения. Кроме того, исследование ИП позволило предложить методы безразборного восстановления деталей, основанные на организации финишной антифрикционной абразивной обработки, подробно описанной в работах [1, 3]. Так, А.Ю. Кривашиным под руководством проф. Ю.Н. Ломоносова была разработана установка для восстановления работоспособности плунжерных пар [5], безразборное восстановление подшипников качения предложил В.И. Балабанов [6].

Согласно [2], экономическая эффективность в случае применения подобных методов восстановления, основанных на организации ИП, складывается за счет:

- отсутствия расходов на запасные части;
- сокращения трудозатрат на устранение отказа;
- сокращения потерь от уменьшения времени простоя;

- повышения износостойкости соединения в дальнейшей эксплуатации и в связи с этим повышения ресурса автомобиля в целом;
- уменьшения потребления смазочных материалов вследствие снижения нагрузочного и температурного режимов в трущихся соединениях;
- экономии топлива за счет снижения потерь на трение;
- минимизации расходов на ремонт и техническое обслуживание;
- сокращения простоев автомобиля и т.д.

Однако несмотря на то, что к настоящему времени по данному направлению трибологии защищено около 40 докторских и более 200 кандидатских диссертационных работ, написаны десятки книг и несколько тысяч научных статей [2], процесс изучения ИП, как и водородного изнашивания, находится на начальном этапе развития.

Д.Н. Гаркунов выделил следующие первоочередные задачи по изучению ИП:

- создание комплекса приборов и установок для изучения избирательного переноса;
- исследование работоспособности шариковых и роликовых подшипников, а также зубчатых передач в условиях ИП;
- создание новых эффективных металлоплакирующих присадок к смазочным материалам и исследование конструктивных особенностей смазочных систем при использовании подобных материалов;
- исследования трения без смазочного материала в режиме ИП в парах металл-металл, металлополимер-металл и др. [1]

Заключение. Разработка новой теории образования самоорганизующихся структур при необратимых процессах, а также дальнейшее развитие работ по созданию практически неизнашиваемых узлов трения машин, оборудования и приборов с использованием ИП – одна из важнейших проблем современной триботехники. Такие явления, как «эффект безызносности», водородное изнашивание металла, явление аномально низкого трения и др., подлежат дальнейшему комплексному исследованию.

Реализация условий ИП при трении может стать одним из краеугольных камней трибологии будущего, позволяющего совершить значительный прорыв в вопросах надежности. Однако, как отмечено рядом исследователей [1-4], успех перехода на использование принципиально новых смазочных материалов для узлов трения, технологических процессов, новых материалов и конструкций подвижных сочленений в промышленности достигается только в тех случаях, когда проводится систематическая научно-исследовательская работа применительно к конкретным узлам трения машин, работающих в данной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
2. Балабанов, В.И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах / В.И. Балабанов, В.И. Беклемышев, И.И. Махонин. – М.: Изумруд, 2004 г. – 192 с.
3. Науч. открытие; диплом № 378. Явление образования насыщенной водородом зоны в подповерхностном слое металла при трении (явление) «водородного изнашивания металлов» / А.А. Поляков, Д.Н. Гаркунов, Г.П. Шпеньков, В.Я. Матюшенко // Открытия. Изобретения. 1990. № 30.
4. Гаркунов, Д.Н. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин / Д.Н. Гаркунов, П.И. Корник. – М.: Изд-во МСХА, 2003. – 344 с.
5. Кривашин, А.Ю. Восстановление работоспособности плунжерных пар топливных насосов дизельных двигателей триботехническим нанесением покрытий. Автореферат канд. дисс. Челябинский гос. технический университет. 1992. – 17 с.
6. Балабанов, В.И. Безразборное восстановление технических характеристик двигателей внутреннего сгорания // Эффект безызносности и триботехнологии. 1999. № 3. – С. 33-36.

Аннотация

Использование явления избирательного переноса для повышения стойкости пар трения к водородному изнашиванию

В работе дан краткий обзор явлений водородного изнашивания и избирательного переноса, определяющих современный этап развития триботехники.

Abstract

About perspective directions in a science about friction

In work the brief review of the phenomena of hydrogen wear process and the selective carry, determining the present stage of development of a science about friction is given.

УДК 621.357.7: 631.3.004.67(075.3)

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Бобанова Ж.И., д.х.н., в.н.с.; **Петренко В.И.**, д.т.н., в.н.с.

Институт прикладной физики АН Молдовы, г. Кишинев, Молдова

Игнатьков Д.А., д.т.н., с.н.с.

Белорусский государственный аграрный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Электролитическое железнение находит широкое применение для восстановления и упрочнения сельскохозяйственных машин и автомобилей [1, 2]. Расширение номенклатуры восстанавливаемых деталей, изготовленных из легированных сталей, чугуна, алюминия, подвергающихся высоким механическим и тепловым нагрузкам, воздействию агрессивных сред, требует применения покрытий с более высокими физико-механическими свойствами.

Примером могут служить детали цилиндро-поршневой группы, которые работают при повышенных температурах и давлениях. Их износостойкость может быть увеличена за счет повышения твердости рабочих поверхностей, сопротивления материала пластическим деформациям, микроконтактному схватыванию и механическому повреждению [3]. Электролитические сплавы на основе железа имеют более высокие характеристики по сравнению с чистым железом.

Работа посвящена изучению морфологии и фазо-структурных особенностей осадков железа, влияния гидродинамических условий на выход по току и скорость осаждения железных покрытий, а также физико-механических свойств сплавов железа, работающих в экстремальных условиях (при повышенных нагрузках, недостатке смазочного материала).

Методика эксперимента. Железные покрытия осаждали из хлористого электролита (№ 1) состава, г/л: FeCl_2 – 500, HCl – 0,5 – 1,0. (pH – 0,8 – 1,0, t – 40 – 50°C, i_k – 20 А/дм²); железо-никелевые (8 – 10% Ni) – из сульфатно-хлоридного электролита (№ 2), г/л: FeCl_2 – 500, NiSO_4 – 8 – 100, $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ – 4 – 6. (pH – 0,8, t – 40°C, i_k – 50 А/дм²); железо-кобальтовые покрытия (20 – 22% Co) – из электролита (№ 3), г/л: – FeCl_2 – 400 – 500, CoSO_4 – 75 – 100. (pH – 0,8 – 1,0, t – 50 °C, i_k – 20 – 30 А/дм²). Также осаждали железные