

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ УПРОЧНЕННОЙ СТАЛИ 30ХГСА В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННО – АКТИВНЫХ СРЕД

Проведено испытание укрепленной стали 30ХГСА в средах проточной водопроводной воды и раствора соляной кислоты. Установлен механизм изнашивания в данных условиях испытания.

Общая постановка проблемы и ее связь с важнейшими научно-практическими задачами. Среди комплекса проблем, решение которых всегда актуально для развития машиностроения, является проблема разработки технологических методов поверхностного упрочнения и восстановления деталей узлов трения машин и механизмов [1].

Актуальность этой проблемы обусловлена интенсивным старением парка машин и оборудования и, в частности, авиационного. Параллельно с этим уменьшилось производство запасных частей на машиностроительных предприятиях Украины и стран СНГ при одновременном росте закупочных цен. Все это создает определенные трудности при ремонте авиационной техники, особенно при восстановлении деталей, работающих в коррозионно-активных средах.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам изнашивания металлов и сплавов в условиях коррозионно-активных сред посвящены исследования Б. И Костецкого [1], В. В. Хильчевского [2], Г. А. Прейса [3], Г. Е. Лазарева [4], и других исследователей. Такими средами могут быть кислые и щелочные растворы, солевые растворы и сплавы, агрессивные газы, серные нефтепродукты. Даже наиболее распространенные среды – смазочные масла могут обладать определенной коррозионной активностью вследствие применения химически активных противозадирных присадок.

Авторы [2] коррозионно-механическое изнашивание характеризуют двумя взаимосвязанными процессами – растворения и отделения материала. В основе первого лежат механические явления, вызывающие резкое усиление коррозионного растворения де-

формированной зоны трения. Второй процесс связан с локализацией механических процессов и динамическим генерированием поверхностных и подповерхностных трещин.

Лазарев [4] рассматривает коррозионно-механическое изнашивание как результат механического диспергирования материала при трении в местах фактического контакта поверхностей и анодного растворения металла на свежесформированных поверхностях в местах фактического контакта.

Твердая, жидкая и газообразная среды существенно влияют на напряженное состояние контакта, а также на природу защитных пленок, возникающих при взаимодействии среды с активированным трением металлом. При высоких механических напряжениях, вызывающих пластическую деформацию, механохимические реакции интенсифицируются. Причем решающее значение в достижении экстремальных параметров анодной реакции имеет стадия деформационного упрочнения. Сдвиг потенциалов может составлять сотни милливольт, а анодный ток может увеличиваться у десятки тысяч раз.

Одним из эффективных путей повышения надежности и долговечности деталей узлов трения, эксплуатируемых в условиях коррозионно-механического изнашивания является применение современных методов поверхностного упрочнения и нанесения защитных покрытий [5; 6 и др].

Защитные покрытия применяют не только для повышения износостойкости трущихся поверхностей, но и для экономии дефицитных нержавеющих сталей, широко применяемых для изготовления деталей, эксплуатируемых в агрессивных средах. К таким покрытиям относятся боридные [6]. Следует отметить, что боридные покрытия, несмотря на высокую поверхностную твердость (до 2000 кг/мм^2), не изнашивают сопряженную поверхность детали пары трения.

Изучению износостойкости вакуумно-плазменных покрытий, нанесенных на Ст. 3, Ст. 45 и 40Х в условиях коррозионно-механического изнашивания посвящено исследование [7]. Покрытия из нитрида титана наносили на рабочие поверхности стальных образцов на установке «Булат 3Т» испытания проводили на машине трения 2070-СМТ-1 в среде 3%-го водного раствора NaCl. Высокие триботехнические характеристики этих покрытий в условиях коррозионно-механического изнашивания объясняются хорошей

адгезией покрытия с металлической основой, высокой сплошностью и равномерностью напыленного слоя по толщине, равноосностью структуры.

Об эффективности азотирования трущихся деталей машин, эксплуатируемых в коррозионно-активных средах, отмечается в работах [2; 8–9 и др.]. Так, для увеличения срока службы трущихся деталей, в [8] рекомендуется ионное азотирование с толщиной диффузионного слоя 0,15–0,20 мм. Испытания упрочненных втулок из стали 40X центробежных насосов СОР-100 за первый сезон эксплуатации на сахарном заводе в течении 117 суток показали, что средний износ неупрочненных втулок составил 0,35 мм, а для азотированных – 0,05 мм.

О повышении износостойкости азотированной стали 40X, испытанной в буферном растворе лимонной кислоты с рН 6,5 отмечается в работе [9]. Это объясняется способностью упрочнения слоя к пассивации с образованием защитных оксидных пленок, обладающих более сильными экранирующими свойствами, чем у улучшенной стали 40X. Повышенная скорость образования оксидной пленки на поверхности азотированной стали улучшает прирабатываемость, предохраняет поверхность от схватывания и препятствует их разрушению, что в итоге уменьшает нагрев и интенсивность износа поверхностей. Кроме того, возникающая на азотированной поверхности температура в 1,3–1,5 раза меньше, чем на улучшенной, вследствие большей теплоемкости нитридов железа по сравнению с теплоемкостью железа. Это создает благоприятные условия для предотвращения температурных вспышек на поверхности в процессе трения, а также снижению интенсивности процесса изнашивания.

Повышение износостойкости металлов при работе в щелочных средах достигается закалкой с низким отпуском, поверхностной закалкой или химико-термической обработкой.

Коррозионная стойкость и триботехнические характеристики композиционных электрохимических покрытий на основе никеля исследованы в работе [10]. Установлено, что введение дисперсных частиц и термическая обработка покрытий состава Ni-B-УДУК в 5%-ом растворе соляной кислоты повышает их коррозионную стойкость в 2,5 – 3,5 раза по сравнению с никелем. Интенсивность изнашивания композиционных покрытий в среде 5%-го раствора

соляной кислоты на порядок меньше чем в проточной воде, что объясняется возникновением вторичных структур на трущихся поверхностях, в составе которых кроме оксидов никеля и железа находятся хлориды этих металлов, способствующие снижению адгезионного взаимодействия между трущимися поверхностями.

Износостойкость детонационных покрытий в коррозионной среде исследована в работе [11]. Однако, сравнить износостойкость покрытий не представляется возможным, так как покрытия из чистого оксида алюминия, а также с добавками оксидов хрома и титана испытывали на трение и изнашивание в воде при удельных нагрузках 5, 10 и 20 МПа, а при трении в среде воздуха испытания проводили при 2 МПа и только оксидного покрытия $Al_2O_3+5\%Cr_2O_3$.

Анализ литературных источников, посвященных исследованию триботехнических характеристик конструкционных материалов с защитными покрытиями, предназначенных для работы в коррозионно-активных средах, свидетельствует о том, что единого мнения у исследователей о природе, кинетике и механизме развития процесса коррозионно-механического изнашивания нет. Не существует единого мнения о применении защитных покрытий для повышения надежности и долговечности трущихся узлов, эксплуатируемых в коррозионно-активных средах. Кроме того, практически не исследована износостойкость композиционных электрохимических покрытий с наночастицами в условиях коррозионно-механического изнашивания.

Цель исследования. Определение влияния градиентных композиционных электрохимических покрытий (КЭП) на износостойкость стали 30ХГСА в условиях трения скольжения в среде 5%-ом растворе HCl и проточной водопроводной воде.

Материалы и методика исследования триботехнических характеристик. Для проведения исследований была применена комплексная методика, которая включает изучение состава, структуры и свойств поверхностных структур с использованием современных физических и химических методов анализа, а также определение триботехнических характеристик покрытий в условиях трения скольжения в различных агрессивных средах (рис. 1).



Рис. 1. Методика проведения исследований

Исследование на трение и изнашивание проводили на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме диск-диск. При этом диск из закаленной стали 45 вращался со скоростью 1 м/с, а диск из стали 30ХГСА, на поверхность которого было нанесено композиционное электрохимическое покрытие, оставался неподвижным. Эксперименты проводили при постоянной удельной нагрузке 1 МПа, скорость скольжения 1 м/с в двух средах: а) проточной водопроводной воде; б) 5%-ом растворе соляной кислоты.

Для реализации режимов граничного трения, моделирование

процесса коррозионно-механического изнашивания и получения воспроизводимых результатов испытаний на износ в качестве пар трения использовали заторможенный ролик, контактируемый по линии образующей вращающегося диска. Коррозионно-активная среда поступала в зону трения при окутывании вращающегося диска в ванну содержащую данную среду.

Для нанесения покрытий использовали стабильные в работе, высокопродуктивные и широко известные в промышленности электролиты (никелирование, кобальтирование, железнение) и дисперсные порошки с размером частиц наполнителя 1 – 5 мкм.

Дисперсные порошки вводили в электролитическую ванну и поддерживали во взвешенном состоянии перемешиванием магнитной мешалкой ММ-3М.

В качестве подкладки для нанесения КЭП использовали образцы стали 30 ХГСА.

Схема установки для нанесения КЭП с регулируемым импульсным перемешиванием электролита изображена на рис.2.

В качестве анода использовались никелевые пластины размером, что не меньше чем в два раза превосходит размер образца (60×30×2 мм). Расстояние между электродами составляло не менее 20 мм. Для предотвращения осаждения покрытий на боковой и тыльной части образцов их покрывали кислотоупорным лаком. Оптимальная толщина покрытий составляла 0,1 мм. Количество частиц в покрытии определяли методами химического и металлографического анализов и пересчетов площади включений видимых на поверхности шлифа.

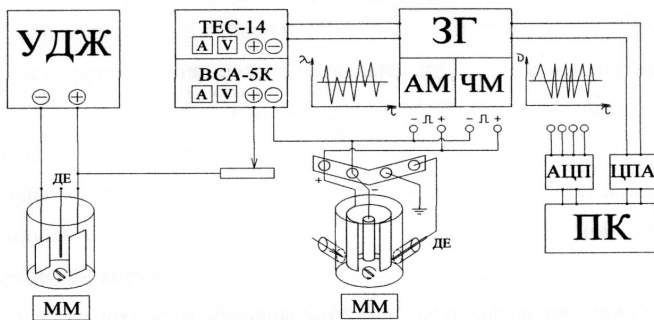


Рис. 2. Схема установки для нанесения КЭП с регулируемым импульсным перемешиванием электролита

Выбор типа электролита. Как уже упоминалось выше, при образовании КЭП, как правило, используют стандартные электролиты никелирования (сульфатно-хлоридные). В данной работе были применены сугубо хлористые электролиты никелирования (табл. 1), которые позволяют повысить рабочую плотность тока до 10 кА/м^2 , а следовательно, увеличить скорость осаждения металла до 90 мкм/ч .

Таблица 1

**Характеристики электролитов, использованных в работе
для получения КЭП**

Состав электролита	Режим электролиза
$300\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$J = 20 \text{ кА/м}^2$; pH 3–4; 60–70 °С

Одним из основных условий получения комбинированных электролитических покрытий есть возможность введения дисперсоида в матрицу. В зависимости от того, какое количество дисперсных частиц введено в покрытие, определяется будущий комплекс физико-химических свойств композита.

Для решения поставленных задач были использованы частицы таких материалов: бора, карбидов хрома и кремния, боридов и хрома. Выбор этих материалов в качестве упрочняющей фазы, которая вводится в электролит, определялся разнообразными физико-химическими свойствами частиц (твердость, электропроводимость, плотность и др.), что позволяет применять идентичные условия общего осаждения для исследования влияния содержания частиц в покрытии на триботехнические свойства, изучать возможность взаимодействия микро- и нанопорошков (бора, карбидов и боридов хрома) с матрицей при последующем диффузионном отжиге, что позволяет получить качественно новые покрытия с новой структурой (твердые растворы, эвтектики, дисперсионно-твердые сплавы, химические соединения), а также изучать возможность исследовать общее осаждение одновременно двух компонентов, которые имеют резко отличные свойства.

Результаты исследований и их обсуждение. Некоторые результаты этих исследований представлены на рис. 3 и 4. В результате исследований установлено, что интенсивность изнашивания композиционных покрытий определяется их составом и структурой

рой, которые представляют собой никелевую матрицу в которой равномерно распределены твердые частицы карбидов или боридов, а в некоторых покрытиях еще и наночастицы карбида кремния. Химический состав и структура композиционных покрытий определяют их поверхностную прочность и способность образования вторичных структур на рабочих поверхностях. Как видно из рис. 3 минимальным износом характеризуются композиционные покрытия состава Ni–SiC+Cr₃C₂(H), а максимальным – Ni–В.

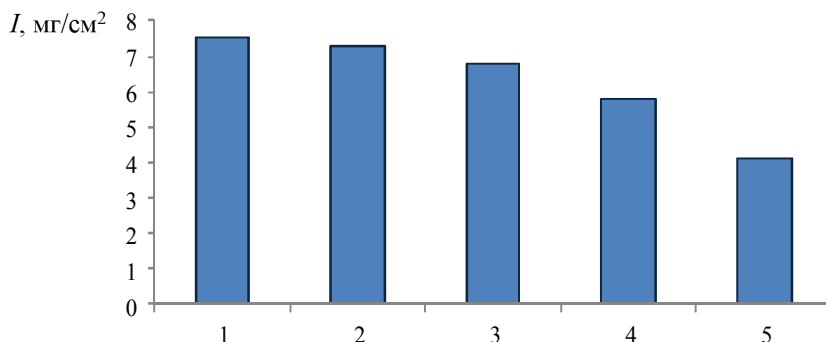


Рис. 3. Влияние поверхностного упрочнения на износ стали 30ХГСА, испытанной в условиях коррозионно-механического изнашивания в проточной воде: 1 – Ni–В; 2 – Ni+Cr₃C₂(М); 3 – Ni+Cr₃C₂(H); 4 – Ni+CrC₂(H); 5 – Ni–SiC +Cr₃C₂(H)

Высокие значения величины износа композиционных покрытий Ni–В в данных условиях исследований объясняется тем, что поверхностная прочность таких покрытий незначительна, потому она не обеспечивает возможность создания на рабочих поверхностях вторичных структур, минимизируя трение и изнашивание. Образованные на поверхности трения вторичные структуры не прочно связаны с покрытием, легко растрескиваются и устраниются из зоны трения в среду.

Для покрытий никель-карбид хрома, испытанных при скорости скольжения 1 м/с и постоянной удельной нагрузке 1 МПа в среде проточной воды, на рабочей поверхности наблюдаются узлы схватывания, сопровождающиеся образованием задиров, вырывов и переносом матричного материала (никеля) на поверхность стального образца (контртела), что способствует увеличению коэффици-

ента трения и интенсивности изнашивания.

На рабочих поверхностях композиционных покрытий, содержащих наночастицы, вырывы и задиры отсутствуют, поверхность гладкая с очень небольшой шероховатостью, коэффициентом трения и минимальной величиной интенсивности изнашивания. Узлы схватывания отсутствуют. В этом случае на поверхности развивается механо-химический процесс изнашивания.

Результаты испытаний композиционных покрытий на трение и изнашивание в 5%-ом растворе HCl представлены на рис. 4.

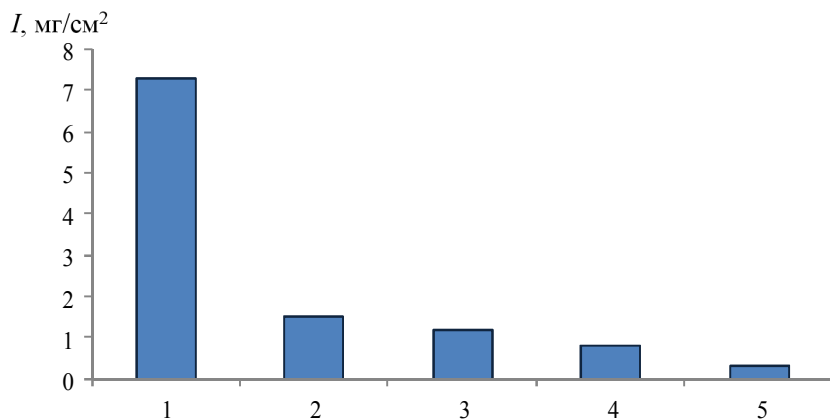


Рис. 4. Износостойкость стали 30ХГСА, испытанной в условиях 5%-го раствора HCl, упрочненной: 1 – Ni-B; 2 – Ni+Cr₃C₂(M); 3 – Ni+Cr₃C₂(H); 4 – Ni+CrC₂(H); 5 – Ni-SiC +Cr₃C₂(H)

Приведенные данные свидетельствуют о том, интенсивность изнашивания композиционных покрытий в 5%-ом HCl растворе существенно меньше, чем при испытании в водопроводной воде.

Высокая износостойкость композиционных покрытий Ni-SiC +Cr₃C₂ + наночастицы обусловлена их коррозионной стойкостью и способностью образовывать на рабочих поверхностях вторичные структуры, содержащие не только сложные шпинели, но и хлор- и серасодержащие соединения. Поверхности трения этих покрытий имеют гладкий вид без вырывов и сколов, о чем свидетельствуют результаты макро и микроанализов.

Выводы: Полученные данные триботехнических исследова-

ний композиционных электрохимических покрытий на основе никеля, испытанных в среде проточной воды и 5%-ом растворе соляной кислоты позволяют сделать выводы:

1. Вид интенсивности процесса изнашивания определяется составом и структурой покрытий, их физико-механическими свойствами, химической активностью среды и нагрузочно-скоростными характеристиками.

2. Наличие в структуре композиционных покрытий твердых включений боридов никеля и карбидов хрома обеспечивают им высокую работоспособность в различных коррозионных средах.

3. Интенсивность изнашивания композиционных электрохимических никелевых покрытий в среде 5%-го раствора соляной кислоты на порядок меньше, чем в проточной воде, что обусловлено образованием на рабочих поверхностях вторичных структур, содержащих не только сложные шпинели, но и соединения хлора и серы, снижающих адгезионное взаимодействие контактируемых поверхностей.

Список литературы

1. *Костецкий Б. И.* Надежность и долговечность машин / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, Л. И. Бершадский, А. К. Караулов. – К.: Техника, 1975. – 408 с.

2. *Хильчевский В. В.* Надежность трубопроводной пневмогидроаппаратуры / В. В. Хильчевский, А. Е. Ситников, В. А. Ананьевский. – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.

3. *Прейс Г. А.* Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности / Г. А. Прейс, Н. А. Сологуб, А. И. Некоз. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.

4. *Лазарев Г. Е.* Определение скорости изнашивания сталей и сплавов, работающих в коррозионных средах – электролитах / Г. Е. Лаарев // Химическое и нефтяное машиностроение, 1986.-№4. – С. 2–23.

5. *Трибологія.* Підручник./М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунец, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк».-2010.-392 с.

6. *Лабунец В. Ф.* Износостойкие бородные покрытия / В. Ф. Лабунец, Л. Г. Ворошнин, М. В. Киндрачук. – К.: Техника, 1989. – 158 с.

7. *Голубец В. М.* Стойкость вакуумных ионно-плазменных покрытий против коррозионно-механического разрушения / В. М. Голубец, Я. В. Шуйко // Защитные покрытия на металлах, 1991.– Вып. 25.–С.66–69.

8. *Рудык А. С.* Долговечность азотированных деталей при работе в конденсате выпарных аппаратов / А. С. Рудык, Н. А. Сологуб // Проблемы

трения и изнашивания. Науч. техн. сб. – К.: Техника, 1989, – Вып. 26. – 200 с.

9. Сологуб Н. Л. Повышение износостойкости стали 40Х азотированием / Н.А. Сологуб, А.С. Рудык, А.И. Безыкернов // Проблемы трения и изнашивания. – Науч. техн. сб. – К.: Техника, 1985. – Вып. 28. – С. 59–63.

10. Анисимов М. И. Износостойкие детонационные покрытия на основе оксида алюминия / М. И. Анисимов, И. М. Галлеев, В. Н. Гольфайн // Защитные покрытия на металлах, 1993.– Вып. 27. – С.29–32.

Жигинас В.В. Зносостійкість зміцненої сталі 30ХГСА в умовах корозійно-активного середовища // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. –Вип. 57 – С. 117– 127.

Проведено випробування зміцненої сталі 30ХГСА в середовищах проточної водопровідної води і розчину соляної кислоти. Встановлено механізм зношування в даних умовах випробування

Табл.1, рис. 4, список літ.: 10 найм.

Ghiginas V.V. The wearproofness of the fortified steel of 30XGSA is in the conditions of corrosive-active environment

The test of the fortified steel of 30XGSA is conducted in the environments of running plumbing of water and solution of muriatic acid. The mechanism of wear is set in these terms of test.

Ключові слова: зносостійкість, сталь 30ХГСА, середовище.

Ключевые слова: износостойкость, сталь 30ХГСА, среда.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2012