

Зависимость физико-механических свойств стали
от времени выдержки при нагреве при содержании ФЛ 6 мас. %

Физико-химические свойства	Время выдержки, мин				
	5	7	10	17	20
Твердость HRB	57	68	75	72	62
Предел прочности при растяжении, МПа	300	360	365	365	320
Относительное удлинение, %	12,4	15,0	16,2	16,4	13,3

Таким образом, фторированный лигнин, введенный в количестве 2-10% в порошковую композицию, при нагревании ее до 1000-1100° С и прессовании до достаточной пористости 7-17%, создает условия формирования структуры материала, характеризующегося высокими прочностными характеристиками, повышенной твердостью и износостойкостью без снижения пластических свойств.

Литература

1. Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок.—М.: Металлургия, 1977.— 216 с. 2. Пат. № 2048471 РФ, МКИ С1 С07 G 1 00 С25 В 3/02. Способ получения антифрикционной добавки на основе фторированного лигнина / Е.И. Коваленко, О.В. Попова. Заявл. 19.02.92; Опубл. 20.11.95; Бюл. № 32.

БДК 621.357

Пантелеенко Ф.И., Сороговец В.И., Шумов О.В.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Введение.

Срок службы машин в значительной степени определяется способностью деталей, из которых она состоит, сопротивляться поверхностному разрушению. Поэтому повышение износостойкости деталей машин за счет нанесения на их рабочие поверхности защитных покрытий, обладающих высокой стойкостью к разрушению, является актуальной задачей. Эффективное решение данной задачи возможно при сочетании различных методов получения защитных покрытий.

Анализ существующих методов нанесения покрытий [1, 2] показал, что для упрочнения деталей машин, имеющих рабочие поверхности в виде отвер-

ствий малого диаметра (1...2 мм) при относительно большой длине (45...60 мм), применимы вакуумное осаждение, газовое диффузионное насыщение, химическое или электрохимическое осаждение из растворов электролитов.

С целью обеспечения высокой экономической эффективности упрочнения, минимизации температурных воздействий и поводов, достижения повышенных эксплуатационных свойств и качества поверхности предпочтительными являются химическое или электрохимическое осаждения. Оптимальное сочетание физико-механических и эксплуатационных свойств, обеспечивающих высокую износостойкость защитных покрытий, возможно получить при создании гетерогенных гальванических покрытий (на основе железа, никеля и т.д.), легированных различными элементами (молибденом, вольфрамом, фосфором, медью, марганцем, кремнием, цинком, серой и др.) [3, 4].

Постановка задач исследования.

В работе ставились следующие задачи: разработка способа получения износостойких гальванических покрытий; сравнительная оценка эффективности полученных гальванических покрытий.

Результаты и их обсуждение.

Повышение эксплуатационных свойств гальванических покрытий, в частности износостойкости, в случае насыщения покрытий легирующими элементами достигается благодаря: а) соответствующей подготовке поверхности детали перед нанесением покрытия, повышающей прочность сцепления; б) низкотемпературной термической обработке (до 0,35 температуры плавления), способствующей релаксации остаточных напряжений; в) легированию покрытий в процессе термической обработки, обеспечивающему протеканию процессов упрочнения твердых растворов, дисперсионного твердения, образования твердых фаз и твердосмазочных включений. Для реализации перечисленных условий необходимым является повышение скорости диффузионных процессов при невысоких температурах, что становится возможным при использовании различных методов ускорения диффузии.

Анализ существующих методов изменения эксплуатационных свойств защитных покрытий [1–4] позволил выделить перспективные направления получения покрытий с повышенной износостойкостью. Одним из эффективных методов повышения прочности сцепления гальванических покрытий с основой может быть получение переходной диффузионной зоны на границе покрытие-основа, в результате чего будет происходить образование сплава из компонентов основы и покрытия и согласование их физико-механических свойств. Чтобы увеличить толщину переходной диффузионной зоны также необходимо повысить скорость диффузии между материалами покрытия и основы, например за счет образования жидкой металлической фазы. Образование жидкой металлической фазы существенно облегчается, если при взаимной диффузии компо-

нентов основы и покрытия образуются легкоплавкие сплавы.

Режимы электрохимического осаждения и природа материалов покрытия и основы также оказывают значительное влияние на прочность сцепления. Так наиболее прочно сцепленные с основой покрытия получают при осаждении покрытий из металлов, обладающих наименьшей начальной поляризацией. Поскольку наименьшей начальной поляризацией обладают металлы, образующие с основой перитектические или эвтектические сплавы, то с целью создания оптимальных условий для получения покрытий с максимальной прочностью сцепления компоненты основы и покрытия должны образовывать перитектические или эвтектические сплавы.

Увеличить твердость электрохимических покрытий возможно диффузионным насыщением легирующими элементами, например, фосфором или бором. Чтобы деталь оставалась работоспособной после термической обработки при незначительной толщине (несколько десятков мкм) наносимого покрытия, температура диффузионного насыщения должна быть как можно более низкой, во избежание искажений размеров и формы рабочей поверхности детали.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать основные принципы получения износостойких гальванических покрытий с использованием методов повышения скорости диффузионных процессов. Во-первых, предлагается наносить гальванические покрытия на рабочие поверхности детали в несколько слоев, чередуя их с промежуточными насыщающими слоями, содержащими необходимые легирующие элементы. При этом обеспечивается сокращение времени термической обработки за счет уменьшения требуемой глубины диффузии.

Во-вторых, при осаждении следует включать в промежуточные насыщающие слои фазы легкоплавких металлов или сплавов, чтобы при низкотемпературной термической обработке создать условия для образования жидкой металлической фазы. При этом увеличение скорости диффузионных процессов достигается за счет ускорения диффузионного переноса легирующих элементов через жидкую фазу.

Также можно сформулировать требования к промежуточным насыщающим слоям многослойного гальванического покрытия: а) в результате диффузии компонентов насыщающего слоя в матричные слои гальванического покрытия (железные, медные, никелевые и т.п.) должны образовываться эвтектические или перитектические сплавы; б) температура плавления образовавшихся сплавов должна превышать температуру термической обработки детали с покрытием; в) после термической обработки образование новых фаз (в результате диффузии легирующих элементов в матричные слои) должно приводить к повышению эксплуатационных свойств покрытий.

Влияние различных легирующих элементов на эксплуатационные свойства гальванических покрытий неодинаково. Для определения наиболее эффективных из легирующих элементов с точки зрения получения максимальной из-

носостойкости эффективность легирования гальванических покрытий, в частности никелевых, была оценена априорным ранжированием. Результаты оценки позволили заключить, что наилучшим сочетанием эксплуатационных свойств (низким коэффициентом трения, высокими коррозионной стойкостью, твердостью и износостойкостью) обладают сплавы никель-фосфор, никель-цинк и никель-бор. При этом соединения никеля с цинком и фосфором являются предпочтительными, так как позволяют наряду с высокими эксплуатационными свойствами получить более легкоплавкие фазы в структуре покрытий, что позволит создать более благоприятные условия для образования жидкой фазы при термической обработке.

Если в состав насыщающего слоя будут входить несколько легирующих элементов, то при термической обработке гальванических покрытий с подобными насыщающими слоями будет происходить комплексное насыщение несколькими элементами, что в большинстве случаев является предпочтительным, потому что позволяет получить более значительное повышение эксплуатационных свойств по сравнению с легированием одним элементом.

Для проверки возможности реализации предложенных подходов к получению износостойких гальванических никелевых покрытий на образцы из стали Р6М5 были электрохимически осаждены многослойные гальванические покрытия с промежуточными цинк-цинк фосфатными насыщающими слоями общей толщиной 45...50 мкм [5]. Полученные образцы с покрытиями были подвергнуты отжигу при температуре 400...700 °С в течение 0,5...1,5 часа в электрической печи.

Для исследования процессов диффузии цинка из промежуточного гальванического цинкового слоя автором на образцы были электрохимически осаждены многослойные покрытия никель-цинк-никель. Промежуточный цинковый слой толщиной 15...20 мкм был получен совместным электрохимическим осаждением из электролита-суспензии никеля и частиц металлического цинка.

Исследование концентрации химических элементов в покрытиях, идентификация фаз проведены с помощью микрорентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализов, а также металлографического и дюрOMETрического методов.

Цинкование никелевых слоев многослойного покрытия при температуре 400 °С происходит уже с достаточно высокой скоростью диффузии насыщающего элемента из промежуточного гальванического никель-цинкового покрытия, т.к. распределение цинка в покрытии по глубине отличается равномерностью даже при минимальной продолжительности термической обработки. Наибольшая концентрация цинка наблюдается в центре покрытия на глубине 25 мкм и на небольшом расстоянии от насыщающего слоя.

После увеличения длительности термической обработки до 1 часа содержание цинка в середине покрытия на глубине 20...30 мкм уменьшается до 12 %, а на поверхности покрытия и на глубине 50 мкм достигает 4...5 %. Здесь в структуре никелевого слоя можно выделить 2 зоны: более светлую внешнюю

глубиной 5...7 мкм, имеющую структуру α -твердого раствора цинка в никеле, и более темную внутреннюю состоящую из смеси α -твердого раствора и β' -фазы. Толщина переходной зоны на подложке возрастает до 5...8 мкм.

Дальнейшее увеличение времени термической обработки до 1,5 часа приводит к выравниванию содержания цинка по сечению покрытия. Концентрация цинка в середине покрытия уменьшается до 8 %, а на поверхности покрытия и на глубине 50 мкм увеличивается до 5...6 %. Структура покрытия отличается большей однородностью, в никелевых слоях уже трудно выделить области, содержащие β' -фазу.

Отсутствие в покрытии фаз со значительным содержанием цинка обусловлено диффузией цинка из областей покрытия с высоким его содержанием в области с низким содержанием, отчасти испарением цинка в окружающую среду из жидкой и твердой фаз, взаимодействием расплава цинка и никеля, а также последовательными перитектическими превращениями, которые заканчиваются образованием структуры $\beta'+\alpha$ или только α .

Переходная зона от металла основы к покрытию представляет собой α -фазу – твердый раствор цинка в α -железе (максимальная растворимость цинка в железе при комнатной температуре около 4,5 % масс.) – цинковый феррит. Толщина переходной зоны увеличивается до 15...20 мкм.

Наиболее равномерное распределение цинка по сечению многослойного покрытия наблюдается после насыщения при температуре 700 °С в течение 1,5 часа. Концентрации цинка в середине покрытия, на поверхности и на глубине 50 мкм составляют около 6...7%. При этом на поверхности концентрация несколько ниже (на 1...1,5 %), чем на глубине 50 мкм. Это объясняется испарением цинка с поверхности покрытия в окружающую среду при проведении термической обработки.

Легирование никелевого покрытия цинком вызывает увеличение его твердости. Если микротвердость чистого гальванического никелевого покрытия составляет 5,0...5,5 ГПа, то при содержании цинка в никеле 2...4 % этот показатель достигает 6,5...7,5 ГПа, а при увеличении содержания цинка до 6...8 % возрастает до 8,5...9,5 ГПа. Как следует из анализа распределения величин микротвердости покрытия никель-цинк-никель по глубине, равномерность распределения цинка в никелевом слое покрытия, которая наблюдается при температурах термической обработки 700 °С, обеспечивает получение практически одинаковых значений микротвердости никель-цинкового сплава по всему сечению покрытия.

Таким образом, повышение температуры термической обработки покрытия с промежуточным гальваническим никель-цинковым слоем до температуры 700 °С (при длительности насыщения 1 час и более) обеспечивает полноту диффузионных процессов, что проявляется в равномерном насыщении цинком никелевых слоев и получении одинакового по твердости никель-цинкового

сплава по всему сечению покрытия.

Существующие электролиты фосфатирования позволяют получать фосфатные слои, состоящие из смеси фосфатов железа, марганца и цинка. Чтобы обеспечить возможно меньшую температуру плавления промежуточного насыщающего слоя и тем самым создать оптимальные условия возникновения жидкой фазы, был выбран электролит для электрохимического фосфатирования, позволяющий получать фосфатные слои, состоящие только из фосфата цинка.

Распределение элементов по толщине покрытия для схемы никель-фосфат цинка-никель после отжига при температуре 700 °С в течение 1 часа свидетельствует о том, что при термической обработке диффузия легирующих элементов насыщающего слоя – фосфора и цинка – в покрытии практически не происходит.

В середине покрытия на глубине 25 мкм содержание цинка составляет 42 %, фосфора – 14 %, тогда как на глубинах 5 и 45 мкм – в среднем 3 и 1 % соответственно. О том, что диффузия легирующих элементов из насыщающего слоя состава фосфат цинка при температуре отжига 700 °С практически не происходит, свидетельствуют также результаты рентгеноструктурного и дюрOMETрического анализов.

Картина изменяется коренным образом при осаждении композиционного насыщающего слоя цинк-фосфат цинка. Измеренная микротвердость по глубине покрытия и результаты анализов свидетельствуют о том, что диффузия легирующих элементов из насыщающего слоя состава цинк-фосфат цинка при температуре 700 °С происходит с высокой скоростью, обеспечивающей насыщение по всей толщине покрытия. Легирование никелевых слоев цинком и фосфором на периферии покрытия происходит в количестве, которое обеспечивает увеличение микротвердости покрытия в поверхностных слоях и в слоях, прилегающих к детали, в среднем в 2,1...2,2 раза по сравнению с чистыми гальваническими никелевыми покрытиями.

Под влиянием термической обработки при значительной ее длительности (1 час и более) происходят выделение избыточной фазы химического соединения фосфида никеля Ni_3P в соответствии с диаграммой состояния Ni-P. В результате микротвердость никель-цинкового слоя повышается с 9,7 ГПа до 11,5...11,3 ГПа, что превышает микротвердость никель-фосфорных покрытий с содержанием фосфора 4...5 % после отжига в течение 30 минут, в соответствии с данными, приведенными в работе автора. Об образовании твердых фаз химического соединения фосфида никеля Ni_3P при наличии включений металлического цинка в насыщающем слое свидетельствуют результаты рентгеноструктурного анализа.

С увеличением длительности отжига до 1,5 часа происходит некоторое снижение микротвердости до 10,8 ГПа, вероятно, за счет коагуляции фаз фосфида никеля. Однако снижение не столь значительное как в случае с обычными

никель-фосфорными покрытиями. При термической обработке многослойного покрытия с промежуточными насыщающими слоями никелевые слои играют роль относительно мягкой матрицы и служат основой для образования твердых растворов легирующих элементов. При отжиге многослойного покрытия происходит диффузия цинка и фосфора из промежуточного насыщающего слоя в никелевые слои с образованием твердых фаз, таких как твердые растворы цинка и фосфора в никеле, фосфид никеля. Образование в покрытии на основе гальванического никеля твердых фаз вызывает повышение твердости покрытия и должно, соответственно, вызывать повышение износостойкости покрытия в целом по сравнению с чистым гальваническим никелевым покрытием, обладающим, как известно, низкими твердостью и износостойкостью.

Для сравнительной оценки эффективности защитных покрытий на образцы были также нанесены химическое никель-фосфорное, диффузионные хромированное и азотированное покрытия.

Износостойкость защитных покрытий в условиях «сухого» трения скольжения оценивалась по схеме «нить-ролик» с углом охвата 90° по массовой интенсивности изнашивания. В качестве нити использовалось стеклянное волокно диаметром 2 мм в сжатом состоянии. Сравнительные результаты испытаний на износостойкость защитных покрытий приведены на рис. 1.

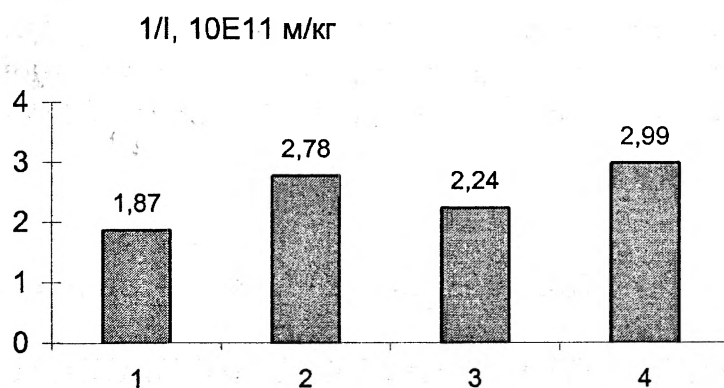


Рис. 1 Износостойкость ($1/l$) защитных покрытий:
 1 – азотированных; 2 – хромированных;
 3 – никель-фосфор; 4 – никель-цинк-фосфор

Как следует из приведенных результатов, минимальную износостойкость для данных условий испытаний имеют азотированные покрытия, максимальную – покрытия никель-цинк-фосфор, полученные послойным электрохимическим осаждением никелевых и цинк-цинк фосфатных слоев и последующим отжигом.

Выводы.

В работе были получены следующие результаты:

1) Разработан способ получения износостойких гальванических покры-

тий, состоящий в послойном электрохимическом осаждении никелевых и промежуточных цинк-цинк-фосфатных слоев с легкоплавкими металлическими фазами и последующей термической обработке – отжигу при температуре 400...700 °С в течение 0,5...1,5 часа [6,7];

2) Испытания на износостойкость защитных покрытий показали, что для конкретных условий испытаний гальванические никелевые покрытия, полученные по разработанному способу, имеют максимальную износостойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 430 с.
2. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В двух томах. Т1. – М.: Машиностроение, 1995 – 531 с.
3. Мальцев М.В., Барсукова Т.А., Борин Ф.А. Металлография цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1960. – 372 с.
4. Ковенский И.М., Поветкин В.В. Металловедение покрытий: Учебник для вузов. – М.: Интермет Инжиниринг, 1999. – 296 с.
5. Дасоян М.А., Пальмская И.Я., Сахарова Е.В. Технология электрохимических покрытий. – М.: Машиностроение, 1989. – 391 с.
6. Шумов О.В., Пантелеенко Ф.И. Способ нанесения покрытий твердой пайкой, преимущественно на втулки. Патент Республики Беларусь № 6402 от 14.04.2004 г.
7. Шумов О.В. Способ получения многослойных электрохимических покрытий на металлах. Патент Республики Беларусь № 6677 от 12.08.2004 г.

УДК 681.3.06

Константинов В.М., Войтехович О.А., Дашкевич В.Г.

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННО – ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

В настоящее время система управления базами данных (СУБД) - это инструмент, помогающий получить быстрый доступ к информации, увеличивая тем самым продуктивность работ. Используя БД при моделировании технологических систем, в том числе при реализации системы проектирования диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов, у нас есть возможность хранить в ней информацию большого размера, управлять растущими объемами информации, обслуживать большое число пользователей при условии одновременного использования ресурсами СУБД и информации БД [5].