

УДК 621.357

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ НИКЕЛЕВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

*чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО,
канд. техн. наук О.В. ШУМОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Предложен способ повышения износостойкости деталей машин, имеющих рабочие поверхности в виде труднодоступных отверстий, при помощи гальванических никелевых покрытий. Способ заключается в поочередном электрохимическом осаждении никелевых и насыщающих слоев (цинк - фосфат цинка) с последующим отжигом в течение 0,5 - 0,8 часа при 550 - 700 °С. Исследованы процессы формирования гальванических никелевых покрытий с повышенной по предложенному способу износостойкостью в условиях трения скольжения.

Введение. Число способов повышения износостойкости и восстановления труднодоступных рабочих поверхностей деталей машин в виде цилиндрических отверстий малого диаметра (1 - 2 мм) относительно большой длины (45 - 60 мм) нанесением износостойких покрытий невелико. Например, достаточно универсальным способом является ионное осаждение в вакууме, однако толщина покрытий, получаемых при этом, не превышает 30 - 50 мкм. Для получения покрытий большей толщины (0,1 - 1 мм) можно использовать диффузионное насыщение в газовой среде, химическое и электрохимическое осаждение из водных растворов. Химическое и электрохимическое осаждение имеют преимущество по сравнению с диффузионным насыщением, так как позволяют не только упрочнять, но и восстанавливать рабочие поверхности деталей машин.

Электрохимическое осаждение является наиболее универсальным способом по сравнению с химическим, так как позволяет в широких пределах изменять режимы нанесения покрытий, форму, размеры и положение электрода относительно детали, а также получать разнотолщинные по сечению покрытия на рабочих поверхностях сложной формы [1]. К недостаткам электрохимического осаждения следует отнести низкую прочность сцепления покрытий с основой, невозможность получения некоторых сплавов, например, никель-алюминий, никель-титан и т.п. [2]. Решение этих проблем возможно путем комбинирования нескольких методов нанесения покрытий - электрохимического осаждения металлических матричных слоев с последующим диффузионным легированием. В большинстве случаев изнашивание трущихся поверхностей происходит неравномерно.

Цель работы - разработать способ повышения износостойкости деталей машин легированными никелевыми покрытиями и исследовать процессы формирования покрытий, получаемых электрохимическим осаждением с последующим диффузионным легированием.

Результаты исследований и их обсуждение. Чтобы эффективно сопротивляться разрушающим воздействиям при эксплуатации рабочие поверхности деталей машин должны обладать высокими эксплуатационными свойствами:

- низким коэффициентом трения для снижения температуры нагрева трущихся поверхностей при работе;
- высокой твердостью (противодействие абразивному изнашиванию);
- высокой коррозионной стойкостью (коррозионное разрушение);
- высокой прочностью сцепления покрытий с основой для предупреждения отслаивания покрытий и т.п.

Анализ методов повышения эксплуатационных свойств защитных покрытий позволил выделить следующие перспективные методы формирования износостойких никелевых покрытий [3, 4]. Повысить твердость и износостойкость электрохимических никелевых покрытий до уровня твердости и износостойкости легированных химических никель-фосфорных можно диффузионным насыщением легирующим элементом, например, фосфором или бором. Чтобы уменьшить до минимума искажения размеров и формы рабочих поверхностей фильер, температура диффузионного насыщения должна быть минимальной, однако уменьшение температуры ведет к снижению скорости диффузии легирующих элементов и увеличению времени термической обработки.

Значительно повысить прочность сцепления никелевых покрытий с основой возможно за счет создания переходной диффузионной зоны на границе покрытие - основа, в результате происходит согласование физико-механических свойств материалов детали и покрытия. Увеличению глубины переходной

диффузионной зоны на границе покрытие - основа способствует ускорение процессов диффузии между компонентами материалов покрытия и основы, например, за счет возникновения жидкой металлической фазы при термической обработке покрытий. Условия возникновения жидкой металлической фазы значительно облегчаются, если существует возможность образования легкоплавких эвтектических сплавов при взаимной диффузии компонентов основы и покрытия. С точки зрения процессов электрохимического осаждения оптимальные условия для получения покрытий с максимальной прочностью сцепления также будут созданы при осаждении металлов с меньшей начальной поляризацией, т.е. при условии, если компоненты основы подложки и покрытия образуют перитектические и эвтектические сплавы.

Легкоплавкие эвтектические сплавы с высокими эксплуатационными свойствами никель образует с фосфором, бором. Условия для создания жидкой металлической фазы в покрытии значительно облегчатся при осаждении промежуточных насыщающих слоев с включениями металлов, например, цинка или олова, имеющих температуру плавления ниже температуры отпуска быстрорежущих сталей. Таким образом, с целью увеличения скорости диффузионных процессов и повышения эксплуатационных свойств гальванических никелевых покрытий был предложен следующий способ.

Во-первых, осаждают гальванические никелевые покрытия многослойными, чередуя их с промежуточными насыщающими слоями. Время диффузионного насыщения при этом сокращается за счет уменьшения необходимой глубины диффузии.

Во-вторых, промежуточные насыщающие слои следует осаждать с легкоплавкими включениями или состоящими из легкоплавкого сплава, что обеспечит образование жидкой фазы при низких температурах термической обработки. Увеличение скорости процессов диффузии при этом вызывается ускорением диффузионного переноса легирующих элементов через жидкую металлическую фазу.

Кроме того, для роста износостойкости многослойных электрохимических покрытий при отжиге необходимо, чтобы промежуточный насыщающий слой содержал легирующие элементы, при диффузии которых в покрытии образуются фазы (твердые растворы или химические соединения) с твердостью, превышающей твердость электрохимического никеля. При этом температура плавления образовавшегося сплава должна быть больше температуры термической обработки детали с покрытием, а для облегчения условий образования жидкой фазы элементы промежуточного слоя должны образовывать с материалом покрытия эвтектические и перитектические сплавы.

Анализ диаграмм состояния позволил сделать вывод, что данным условиям в наибольшей степени соответствуют сплавы никеля с цинком, фосфором или бором [5]. Расчет методом априорного ранжирования эффективности легирования основными элементами, используемыми для легирования никелевых покрытий (цинком, оловом, кремнием, медью, фосфором, кобальтом, бором), также показал, что наиболее эффективным с точки зрения повышения эксплуатационных свойств гальванических никелевых покрытий (снижение коэффициента трения, увеличения твердости, коррозионной стойкости, прочности сцепления с основой), обеспечивающих максимальное повышение их износостойкости в условиях коррозионно-механического изнашивания (рабочая среда - разогретая до 400 - 500 °С стеклянная пыль), является легирование покрытий цинком, фосфором или бором.

Предпочтительными, по сравнению со сплавом никель-бор, являются соединения никель-цинк и никель-фосфор, так как кроме высоких эксплуатационных свойств позволяют получить более легкоплавкие фазы, тем самым создавая более благоприятные условия для образования жидкой фазы. Покрытия, содержащие перечисленные соединения, возможно получить при фосфатировании никелевых покрытий. Образующийся на поверхности детали при фосфатировании фосфатный слой представляет собой в общем случае пленку фосфатов различных металлов, в частности, цинка. Кроме того, состав электролита для фосфатирования возможно подобрать так, чтобы получаемый фосфатный слой состоял только из фосфата цинка, и таким образом получить материал с наименьшей температурой плавления.

Для определения влияния состава и режимов получения легированных никелевых покрытий на их эксплуатационные свойства на образцы из стали 10, Р6М5 были осажжены многослойные гальванические никелевые покрытия с различными насыщающими слоями (цинковыми, фосфатными и цинк-фосфатными) и подвергнуты отжигу при температурах 400 - 700 °С в течение 0,5 - 1,5 часов. Исследование концентрации химических элементов в покрытиях, идентификация фаз проведены с помощью микрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного, металлографического и дюрOMETрического методов анализа.

Результаты анализов распределения показали, что во всем диапазоне температур после отжига наблюдаются значительные расхождения в величинах концентраций легирующих элементов по сечению гальванических никелевых покрытий в случае, если насыщающие слои не содержат цинка. Это, очевидно, обуславливается низкой скоростью диффузии элементов в покрытии при использовании насыщающих слоев данного состава. Установлено, что в этом случае основная часть легирующих элементов из

насыщающего слоя сосредоточена в центральной части покрытий даже при максимальной температуре отжига, 700 °С (рис. 1).



Рис. 1. Микроструктура покрытий никель-фосфат цинка-никель на стали 10 после отжига в течение 1 часа при температуре 700 °С (x400)

Для покрытий с насыщающими слоями состава цинк-фосфат цинка диффузия легирующих элементов происходит во всем диапазоне температур с высокой скоростью, обеспечивающей увеличение микротвердости (до 11,3 - 11,5 ГПа) по всему сечению покрытия в среднем в 2,1 - 2,2 раза по сравнению с чистыми никелевыми покрытиями.

При отжиге многослойных гальванических никелевых покрытий происходит увеличение микротвердости матричных никелевых слоев за счет диффузии легирующих элементов (цинка и фосфора) и образования твердых фаз (твердого раствора цинка и фосфора в никеле, фосфида никеля). В случае если насыщающий слой состоит только из фосфата цинка, повышение микротвердости происходит только в центральной части покрытий. Микротвердость областей покрытий, удаленных от середины, увеличивается незначительно и не достигает максимальных значений, возможных при равномерном распределении легирующих элементов по сечению покрытий. При наличии же цинка в насыщающих слоях микротвердость возрастает в значительно большей степени и в среднем в 1,5 раза превышает аналогичный показатель покрытий без включений цинка (рис. 2).

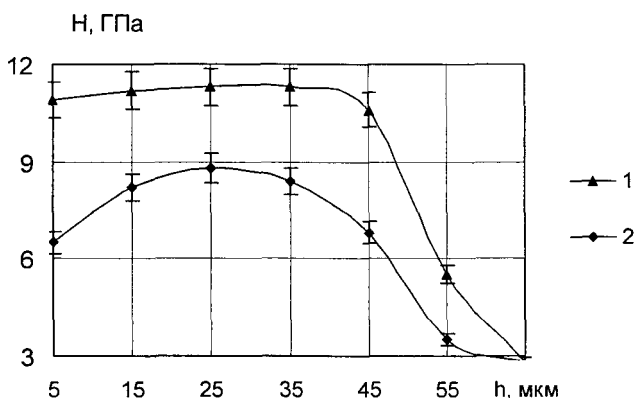


Рис. 2. Изменение микротвердости (H) по глубине (h) (отжиг 1 ч при температуре 700 °С) гальванических никелевых покрытий с насыщающим слоем: 1 - цинк-фосфат цинка; 2 - фосфат цинка

Проведенные испытания на износостойкость по методу Шкода - Савина по схеме «диск - колодка» чистых и легированных по предложенному способу гальванических никелевых покрытий показали, что упрочненные покрытия превышают по данному показателю чистые в среднем в 4,8 - 5,3 раза.

Таким образом, результаты микрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного, металлографического и дюрOMETрического методов анализа покрытий многокомпонентной системы на основе никеля позволили установить, что послойное осаждение никелевых слоев с промежуточными насыщающими слоями цинк-фосфат цинка и последующая термическая обработка в течение 0,5 - 0,8 часа в диапазоне температур 550 - 700 °С обеспечивает повышение эксплуатационных свойств гальванических никелевых покрытий, в частности микротвердости и износостойкости. Микротвердость гальванических никелевых покрытий в 2,1 - 2,2 раза выше по сравнению с чистыми никелевыми, полученными электрохимическим

осаждением. Увеличение микротвердости происходит за счет легирования цинком и фосфором в результате диффузии легирующих элементов в никелевые слои из промежуточных насыщающих слоев и образования фаз с повышенной твердостью - частиц фосфида никеля Ni_3P , твердых растворов цинка и фосфора в никеле.

Выводы

1. На основании результатов анализа методов повышения эксплуатационных свойств защитных покрытий был предложен способ получения износостойких гальванических никелевых покрытий, состоящий в нанесении никелевых слоев поочередно с насыщающими слоями, состоящими из нескольких легирующих элементов и содержащими легкоплавкие фазы, в последующей низкотемпературной бездеформационной термической обработке, совмещенной с отпуском детали.

2. Характер и интенсивность комплексного диффузионного насыщения легирующими элементами зависят от наличия легкоплавких включений цинка в насыщающем слое. Выявлено, что гальванические никелевые покрытия с насыщающим слоем, состоящим только из фосфата цинка, после отжига имеют значительную неравномерность в распределении элементов по сечению покрытий. Это наблюдается даже при термической обработке в течение 1,5 часа при температуре 700 °С и объясняется следующими факторами:

- легирующие элементы в таком насыщающем слое находятся, в основном, в связанном состоянии;
- в отсутствие цинка, вероятно, реакция восстановления фосфора из его оксида практически не протекает.

3. Установлено, что комплексное легирование покрытий позволяет получить более значительное увеличение микротвердости в сравнении с однокомпонентным легированием. Так, при легировании гальванических никелевых покрытий только цинком микротвердость покрытий увеличивается в среднем в 1,8 - 1,9 раз, тогда как в случае насыщения одновременно цинком и фосфором этот показатель возрастает в 2,1 - 2,2 раза по сравнению с микротвердостью нелегированных гальванических никелевых покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дасоян М.А., Пальмская И.Я., Сахарова Е.В. Технология электрохимических покрытий. - М.: Машиностроение, 1989. - 391 с.
2. Ковенский И.М., Поветкин В.В. Металловедение покрытий: Учебник для вузов. - М.: Интермет Инжиниринг, 1999. - 296 с.
3. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. - М.: Машиностроение, 1973. - 430 с.
4. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: В 2-х т. - М.: Машиностроение, 1995. -Т. 1. - 531 с.
5. Мальцев М.В., Барсукова Т.А., Борин Ф.А. Металлография цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1960. - 372 с.