№ 1
2019

ВСЕ МАТЕРИАЛЫ

ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Рекомендован ВАК для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

С 2011 г. журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник» переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing, Ltd" как приложение к журналу "Polymer Science, Series D", распространение которого осуществляет издательство "Springer".

Переводная версия журнала входит в международные реферативные базы данных систем цитирования (индексирования): Academic OneFile, Chemical Abstracts Service (CAS), El-Compendex, Expanded Academic, Google Scholar, INSPEC, OCLC, PASCAL, SCImago, SCOPUS, Summon by Serial Solutions.

СОДЕРЖАНИЕ

Композиционные материалы

Мясоедова В.В., Таран И.А. Влияние состава смеси этилцеллюлоза—каучук на образование термоэластопластичного композита 2

Трунилина А.В., Баурова Н.И. Полимерные композиты со свойствами биодеградации 9

Повышение качества материалов

Кахраманов Н.Т., Гусейнова З.Н., Осипчик В.С. Влияние технологических параметров литья под давлением на физико-механические свойства динамических эластопластов на основе полиолефинов 14

Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Айзатулина М.К., Попов А.А. Стекло органическое ориентированное авиационное АО-120ПД с оптическими характеристиками нейтрального светофильтра 21

Материалы специального назначения

Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Князева Л.Г., Шель Н.В., Дорохова А.Н., Вигдорович М.В. Оценка защитной эффективности летучего ингибитора ИФХАН-114 посредством поляризационных измерений в условиях атмосферной коррозии меди. 25

Кривошеина Е.В., Галанин С.И., Букалов Г.К. Определение срока службы ювелирных изделий и бижутерии 32

Скрябин В.А. Изучение физико-механических свойств никель-фосфорных покрытий 38

Информация

Лебедев В.В., Пухова О.В. Управление торфодобывающим комплексом автоматизированной системой ГЛОНАСС 43

УДК 621.357.74:76

Изучение физико-механических свойств никель-фосфорных покрытий

В.А. Скрябин, д-р техн. наук

Пензенский государственный университет (440026, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1994-6280-2019-0-1-38-42

Статья поступила в редакцию 04.09.2017.

Приводятся некоторые теоретические положения о внутренних напряжениях в упругом покрытии и путях их снижения. Эти положения используются при прогнозировании физико-механических свойств никель-фосфорных покрытий. Рассмотрены влияние кривизны поверхности покрываемого изделия, роль толщины слоя и термической обработки на внутренние напряжения после никелирования. Кроме того, исследовано влияние термообработки на прочность сцепления покрытия, износостойкость, твердость и усталостную прочность.

Ключевые слова: *никель-фосфорное покрытие, внутренние напряжения, износостойкость.*

Помимо электрохимических методов, осаждения металлов, в производстве широко реализуется химическая технология нанесения покрытий из водных растворов. В отличие от гальванического, химическим способом можно наносить равномерные по толщине покрытия на сложные поверхности деталей, включая внутренние поверхности трубных систем.

Химическое осаждение основано на реакциях восстановления металлов из растворов их легко разлагающихся соединений. Роль восстановителей принадлежит активным соединениям, содержащим углерод, водород, фосфор, бор. Поверхность покрываемого металла, как правило, должна обладать каталитическими или автокаталитическими свойствами, поэтому процесс носит избирательный характер [1, 2].

Подробно исследовано и широко применяется в промышленности химическое осаждение никель-фосфорных (Ni—P) покрытий. Никель восстанавливается из раствора соли гипофосфитом натрия с одновременным разложением гипофосфита. Покрытие образуется с достаточной скоростью лишь при повышенных температурах (90—95 °С) в щелочной (pH = 8—10) или кислой (pH = 4—6) средах.

Химически осажденный никель обладает более высокими защитными свойствами, чем электрохимически осажденный, из-за меньшей пористости, а также потому что осадки, содержащие в своем химическом составе фосфор, более стойки к агрессивным средам, чем чистый никель.

Качество химического покрытия и, в первую очередь, прочность сцепления его с основой, зависят от тщательности проведения подготовки поверхности изделия перед нанесением металлопокрытий, термической обработки изделия после никелирования для снятия внутренних напряжений и завершающей механической обработки эластичными кругами для придания восста-

новленной поверхности исходной шероховатости.

Исследования проводились на автомобильных поршнях из сплава алюминия марки АЛ25. Перед механической обработкой для прочного сцепления химического никеля с алюминием необходимо сделать предварительную цинкатную обработку поверхности поршня.

До нанесения покрытия поршень обрабатывался на круглошлифовальном бесцентровом полуавтомате модели 3Е183А. Режимы обработки: $V_д$ = 10 м/мин — скорость вращения детали; $S_р$ = 0,001 мм/об. — радиальная подача шлифовального круга; $V_{кр}$ = 30 м/с — скорость вращения круга. Параметры шлифовального круга: марка 52С, зернистость 25, твердость СМ1, связка К5. Для нанесения никель-фосфорного покрытия требуемая величина шероховатости Ra = 0,32 мкм.

Затем осуществлялись повторная цинкатная обработка, травление (снятие слоя цинка в растворе азотной кислоты) и изоляция (нанесения на места, не подлежащие покрытию, цапон-лака). Никелирование поверхности юбки поршня производилось слоем покрытия толщиной 100 мкм. После нанесения покрытия удалялись изоляционные материалы, производилась термическая обработка для снятия внутренних напряжений после никелирования, а затем покрытие на поверхности поршня (юбке поршня) полировалось эластичными кругами до шероховатости Ra = 0,63 мкм на полировально-шлифовальном станке.

При переходе от материала основы к нанесенному никель-фосфорному покрытию неизбежно возникает скачок, или градиент, свойств, в частности коэффициента расширения, в результате чего в покрытии появляются постоянные или временные внутренние напряжения. Они приводят к снижению прочности сцепления, быстрому разрушению покрытий при эксплуатации, особенно в местах с малым радиусом закругления на наружной поверхности.

При превышающих допустимый предел напряжениях сжатия покрытия откалываются от плоской или выпуклой основы, а при напряжениях растяжения в них возникают микротрещины. Поэтому следует принимать меры к снижению напряжений.

Внутренние напряжения в химических осадках возникают в результате структурных изменений в процессе образования осадка и зависят от природы осадка, состава раствора и режима осаждения. Существует несколько способов снижения напряжений: регулирование толщины покрытия; увеличение радиуса кривизны поверхности; термообработка поверхности.

С увеличением толщины покрытия средние остаточные напряжения в нем уменьшаются. Чем больше толщина покрытия и меньше толщина металла, тем меньше напряжения в покрытии и больше напряжения в металле. Однако прочность сцепления толстослойных покрытий меньше, чем тонкослойных.

Чтобы нивелировать противоречия, считается, что термомеханическая устойчивость покрытий находится в прямой связи не с напряжением сжатия (Н/м^2), а с общей силой сжатия (Н), действующей на всю площадь сечения покрытия (общая сила = напряжение × толщина). Общая сила сжатия возрастает с увеличением толщины слоя, несмотря на возможное уменьшение напряжения. При практическом прогнозе влияния толщины слоя на сцепление следует принимать в расчет прежде всего общую, а не удельную силу.

Имеет значение не только общая сила и абсолютная величина напряжений, но и характер распределения напряжений по сечению покрытия и металла. Напряжения максимальны у границы соприкосновения покрытия с основой и убывают по мере удаления от границы к поверхности покрытия и вглубь металла. Благодаря градиенту напряжений $\Delta p/\Delta h$ в слое покрытия, находящемся в сжатом состоянии, даже на плоской поверхно-

сти возрастают силы, которые направлены перпендикулярно и стремятся оторвать слой покрытия от основы. Чем больше градиент напряжений, тем больше эти силы. По экспериментальным данным, градиент напряжений в толстом слое больше, чем в тонком (рис. 1).

Экспериментально доказано, что внутренние напряжения растяжения покрытия Ni—P мало зависят от толщины осадка и составляют порядка 80—90 МПа. Присутствие цинка в растворе никелирования и включение его в покрытие уменьшают напряжения растяжения. Включение вольфрама в Ni—P-покрытие практически не оказывает влияния на напряжения растяжения осадков при толщине больше 3 мкм. В тонких слоях внутренние напряжения никель-фосфорного покрытия с вольфрамом выше, а по мере роста толщины напряжения осадков быстро уменьшаются. Внутренние напряжения осадков, содержащих молибден и марганец, возрастают с увеличением толщины покрытия, при этом они в 2—4 раза ниже внутренних напряжений Ni—P [2].

Анализ напряженного состояния покрытий на плоской поверхности показывает, что силы сжатия, превышающие определенный предел, ведут к отрыву покрытия от основы. На искривленных поверхностях в слое покрытия после охлаждения остаются дополнительные отрывающие или прижимающие усилия, действующие нормально к поверхности (радиальные напряжения). На выпуклых (наружных) поверхностях коэффициент расширения покрытия $\alpha_п$ должен быть максимально приближен к коэффициенту расширения металла $\alpha_м$. На вогнутые (внутренние) поверхности можно наносить покрытия с гораздо меньшим, чем у металла, коэффициентом расширения (рис. 2).

Чтобы снизить внутренние напряжения после никелирования, применяется термическая обработка при температуре 200—220 °С в течение 1—2 ч [3—5]. Кроме того, термообработка позволяет также повысить твер-

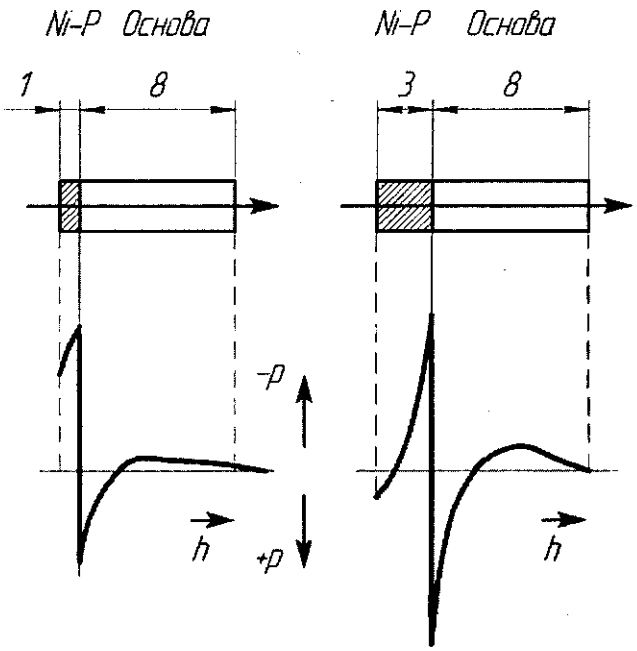

Рис. 1. Изменение напряжений в тонком и толстом слоях никель-фосфорного покрытия

дость покрытия. Сразу после осаждения твердость покрытия составляет 3200—6000 МПа в зависимости от состава и кислотности растворов, используемых для получения осадков. Зависимость твердости покрытия от температуры обработки показана в таблице.

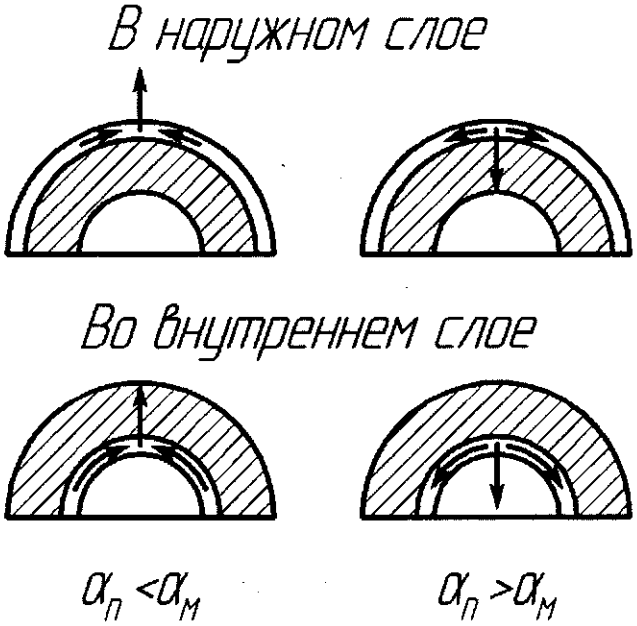

Рис. 2. Схемы остаточных напряжений в охлажденном покрытии на цилиндрической поверхности

Зависимость твердости N—P-покрытия от температуры обработки

Температура, °С	200	300	400	600	800	1200
Твердость, МПа	4500—6000	6500—7500	7500—9000	4500—6500	3000—3500	2000—2500

Максимальная твердость при температуре 400 °С достигается за 10 мин, а при 300 °С — за 1,5—2,0 ч.

Поверхность никель-фосфорного покрытия (рис. 3) представляет собой сглаженные некрупные глобулы, перекрывающие друг друга, что способствует уменьшению шероховатости. Покрытие имеет зеркальный блеск с желтоватым оттенком.

Сцепление никелевого покрытия с углеродистой низко- и среднелегированной сталью, медью и ее сплавами, никелем и кобальтом является очень прочным; с коррозионно-стойкими сталями, титаном и алюминием хорошее сцепление получают в результате применения специальных методов подготовки поверхности перед покрытием. Сцепление покрытия с основой улучшается после термообработки в течение 1 ч (для стали при 300—350 °С, для алюминия — при 140—250 °С). Прочность сцепления покрытия составляет от 415 до 219 МПа.

Износостойкость покрытия зависит от его термообработки, т.е. от твердости покрытия. Нетермообработанные покрытия имеют очень низкую износостойкость, и уже при давлении 1 МПа покрытие задирается и отслаивается от основного металла. Так, например, покрытие, подвергшееся термообработке при 400 °С, имеет износ при работе со смазкой в 10 раз меньше, чем сталь марки 30ХГСА с твердостью 34 *HRC*, но в два раза больше, чем хромовое покрытие.

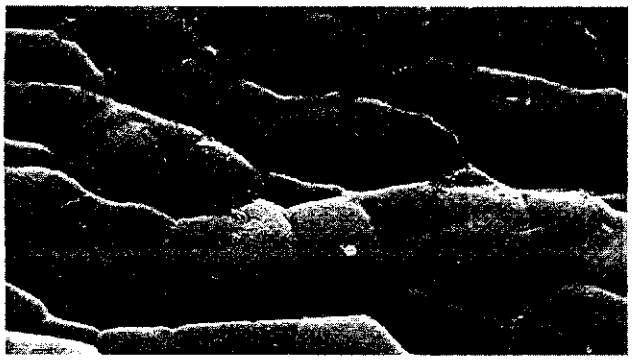

Рис. 3. Микроструктура поверхности никель-фосфорного покрытия при увеличении в 2200 раз

Аналогичное соотношение по износу имеет никелевое покрытие по сравнению с хромовым и при сухом трении. Термически обработанное никелевое покрытие при работе в паре с бронзой и баббитом по износостойкости равноценно хромовому покрытию и закаленной стали марки сталь 45. Нетермообработанное покрытие в этом случае изнашивается в два-три раза быстрее, чем закаленная сталь марки сталь 45 и хром. Предельное давление, до задира покрытия, превышает 42 МПа. Коэффициент трения при смазке маслом АМГ-10 и давлении 4,0—8,0 МПа находится в пределах 0,065—0,070, при трении по бронзе — 0,02—0,06, по баббиту — 0,024—0,090 [3]. Механические свойства стали с химическим никелевым покрытием толщиной 20 мкм (временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение, поперечное сжатие и ударная вязкость) не подвергаются заметным изменениям.

Усталостная прочность в результате нанесения никель-фосфорного покрытия снижается на 3,8% (у образцов с надрезом — на 40%). Пористость и защитные свойства покрытий, полученных химическим и электролитическим способом, практически равноценны.

Рассмотренная выше технология нанесения на поверхность основы материала детали никель-фосфорного покрытия после термической обработки и последующего шлифования эластичным кругом была апробирована и внедрена на АО «Пензкомпрессормаш» для поршней из алюминиевого сплава ком-

прессоров высокого давления, что позволило повысить ресурс их работы в 1,5—2 раза и расширить технологические возможности производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горохов В.А., Иванов В.П., Схиртладзе А.Г.** и др. Технология, оснащение и организация ремонтно-восстановительного производства. Старый Оскол.: ООО «ТНТ». 2013. 552 с.
2. **Создание новых и совершенствование действующих технологий** и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий: материалы докладов республиканского научно-технического семинара. Минск: БГТУ, 2011. 163 с.
3. **Скрябин В.А.** Физико-механические свойства гальванических хромовых покрытий на стальной основе деталей // Технология металлов. 2015. № 10. С. 43—47.
4. **Схиртладзе А.Г., Скрябин В.А.** Ремонт технологического оборудования. М.: КУРС, ИНФРА-М.: 2018. 352 с.
5. **Чернышева О.В.** Изучение свойств хромовых и никелевых покрытий до и после их обработки // Успехи современного естествознания. 2006. № 7. С. 79.

РУКОВОДСТВО АВТОРУ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ*

Автор (или коллектив авторов) осознает, что несет первоначальную ответственность за новизну и достоверность результатов научного исследования, что предполагает соблюдение следующих принципов:

- Авторы статьи должны предоставлять достоверные результаты проведенных исследований. Заведомо ошибочные или сфальсифицированные утверждения неприемлемы.
- Авторы должны гарантировать, что результаты исследования, изложенные в предоставленной рукописи, полностью оригинальны. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы.
- Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования, в частности, в статье должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования.
- Авторы не должны предоставлять в журнал рукопись, которая была отправлена в другой журнал и находится на рассмотрении, а также статью, уже опубликованную в другом журнале.
- Соавторами статьи должны быть указаны все лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании.
- Если автор обнаружит существенные ошибки или неточности в статье на этапе ее рассмотрения или после ее опубликования, он должен как можно скорее уведомить об этом редакцию журнала.

* Из Кодекса этики научных публикаций