УДК 544.72:538.9

А.Г.СЫРКОВ
профессор кафедры общей и технической физики
И.В.ПЛЕСКУНОВ
Горный факультет, группа ТПП-03-1, ассистент профессора
С.А.ИГНАТЬЕВ
доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики
Е.В.РЕМЗОВА
Металлургический факультет, группа ЭП-05, ассистент профессора

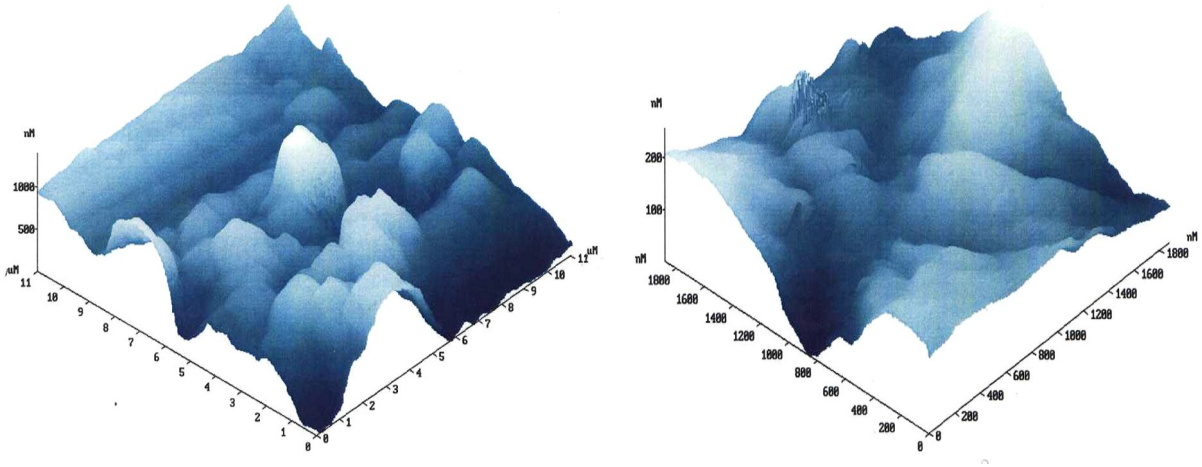
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ГОРНОЙ ОТРАСЛИ

В ходе работы установлена симбатная (в ряде случаев линейная) взаимосвязь между водоотталкивающими и защитными свойствами изученных наноструктурированных и традиционных лакокрасочных покрытий на стали, обнаружен эффект пассивации поверхности стали в образце с «триамоновым» наноподслоем в длительных коррозионных испытаниях на производстве. Разработаны и впервые внедрены на горном предприятии наноструктурированные защитные покрытия.

Symbate (and in some cases linear) correlation has been established between water-repelling and protective properties of currently known nanostructured and conventional paint steel coatings; the surface passivation effect in steel surface with triamon nano- undercoating has been revealed during long-term corrosion tests in industrial conditions. Nanostructured protective coatings have been developed and introduced at mining companies for the first time in the history.

Несмотря на внедрение большого количества новых материалов, основным конструкционным материалом в промышленности по-прежнему остается сталь. Поэтому вопросы механизма коррозии стали и защиты ее поверхности остаются актуальными и в наши дни. В последнее десятилетие, помимо традиционных методов защиты от коррозии металла, все чаще используют нанопленки поверхностно-активных веществ (ПАВ) и другие наноматериалы, например в составе защитных композиций на органической основе. Перспективность подобных подходов связана с тем, что, благодаря нанометровому масштабу толщины пленки или размера частиц наполнителя защитного покрытия, удается на атомно-молекулярном уровне воздействовать на величину адгезии покрытия к металлу и его реакционную способность [1].

В качестве базовых для разработки покрытий были выбраны битумные материалы (лак БТ-577 и «серебрянка» БТ-177) химически стойкие (в том числе к SO_2 и HCl) перхлорвиниловые материалы типа ХВ, олифа натуральная, кремнийорганические жидкости типа ГКЖ. В качестве исходных стальных образцов использованы пластины из стали 3 с поверхностью, подготовленной по ГОСТу, и геометрической поверхностью 6-34 $см^2$. Анализ показал, что неровности на поверхности стали (см. рисунок), механически обработанной шкуркой, в большинстве случаев менее 1 мкм, т.е. много ниже, чем предусмотрено ГОСТ 2789-73 (25 мкм). Компьютерная обработка изображения не-



АСМ-снимки поверхности исходных стальных образцов

ровностей рельефа поверхности показала, что расстояние между дном самой глубокой ямы и пиком самого высокого бугорка поверхности $R_{max} = 1485$ нм, шероховатость поверхности 170 нм. После нанесения нанопленок ПАВ и кремнийорганических соединений эти два параметра уменьшились в среднем до 780 и 65 нм.

Защитные покрытия наносили как обработкой поверхности стандартными покрытиями: битумным лаком (Бл), грунтовкой-эмалью ХВ-0278 (ХВ), «серебрянкой» БТ-177 (БТ), олифой натуральной (ОН), так и путем адсорбции нанопленок катионактивных препаратов ПАВ: алкамона (А), триамона (Т) или их смеси в соотношении 1:1 пимолюба. Ряд стальных образцов обрабатывали феррофосфатирующими составами: фосфамиксом и его российским аналогом керо, разработанным нами ранее. Для формирования нанопленок использовали также гидрофобизирующую кремнийорганическую жидкость ГКЖ-94 (ГКЖ), которую для усиления сцепления с металлом наносили на предварительно фосфатированную поверхность стали. Для коррозийных испытаний стальные образцы помещали в эксикаторы на керамическую сетку, под которой в фарфоровых чашечках находились водные растворы веществ, испаряющих соответствующую агрессивную примесь (HCl, SO_2). Для изучения влияния твердых гидрофобизированных добавок на защитные свойства стандартных лакокрасочных покрытий в последние вводили наноструктурированные Si-C-содержащие металлические порошки (Н), полученные методом твердотельного гидридного синтеза (ТГС). Величину коррозии контролировали гравиметрически с помощью электронных аналитических весов HR-300 (точность 0,1 мг). Далее ряд образцов, наиболее стойких в лабораторных испытаниях, исследовали методами РФЭС, РФлА (Германия, Лейпцигский университет) и АСМ (Санкт-Петербургский технологический институт). После этого следовали натурные испытания на предприятии РУП ПО «Беларуськалий», проводимые независимыми экспертами Белгорхимпрома.

Как следует из лабораторных испытаний, устойчивость образцов к совместному действию всех компонентов увеличивается в ряду, которому присвоен номер 1:

Ряд 1 (усиление защитного действия)	Бл/(Т/А)/Ст3 < Ст3 < ХВ/Ст3 < Бл/Ст3			
Величина коррозии $\Delta m/m$, %:				
в смеси	0,48	0,08	0,06	0,03
в парах H_2O	0,67	0,17	0,13	0,09

В аналогичной последовательности растет устойчивость образцов к действию паров воды. Из этих фактов вытекает, что чем выше гидрофобность (меньше $\Delta m/m$ в парах H_2O) образца (покрытия), тем выше его защитные свойства, как в смеси HCl, SO_2, H_2O, KCl, так и при воздействии самой

агрессивной комбинации компонентов (KCl и H_2O) [4]. Для ряда образцов эта зависимость принимает линейный вид.

В ходе лабораторных испытаний были выявлены четыре наиболее стойких защитных покрытия. Ряд 2 отражает усиление защитного действия этих покрытий:

Ряд 2	А < ГКЖ/Керо < 2Бл < 2ОН(Н)			
Защитное действие в ходе лабораторных испытаний	0,39	0,58	0,75	1

Ряд усиления защитного действия покрытий, получившийся в итоге длительных (195 сут) натурных испытаний в условиях производства с учетом анализа структуры образцов, следующий:

Ряд 3	А < А/Т < ГКЖ/Керо < 2Бл < 2ОН(Н)				
Защитное действие в ходе натурных испытаний	0,30	0,55	0,60	0,72	1

Ряд 3 практически совпадает с предсказанным по результатам лабораторных исследований. Отличие ряда 3 от ряда 2 в появлении нового образца с покрытием А/Т, который мы рискнули сразу испытать на производстве, основываясь на обнаруженном нами ранее [3] эффекте усиления антифрикционных свойств нанесенного на сталь алкамона (А) в присутствии «триамонового» подслоя (Т). Анализ РФЭ – спектра Fe2*p*-уровня этого образца показал, что формально окисление исходной стали (энергия связи 710,2 эВ) практически предотвращается при нанесении данного нанопокрытия ПАВ (710,0 эВ).

В ходе работы установлена симбатная (в ряде случаев линейная) [2] взаимосвязь между водоотталкивающими и защитными свойствами изученных наноструктурированных и традиционных лакокрасочных покрытий на стали. Структура и состав поверхности образцов с нанесенными покрытиями изучены современными физическими методами (на атомно-силовом микроскопе, методами рентгенофотоэлектронной спектроскопии и рентгенофлюоресцентного анализа) и на основе анализа энергии связи электронов Fe2*p*-уровня обнаружен эффект пассивации поверхности стали в образце с триамоновым наноподслоем в предложенном бислойном покрытии. Разработаны и впервые внедрены на горном предприятии наноструктурированные защитные покрытия на основе катионных ПАВ, кремнийорганических соединений и на основе натуральной олифы, содержащей нанонаполнитель, полученный методом твердотельного гидридного синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корсаков В.Г.* Физика и химия – в нанотехнологиях / В.Г.Корсаков, А.Г.Сырков, Л.П. Велютин / СПбГТИ (ТУ). СПб, 2002. 64 с.

2. *Попова А.Н.* Наноструктурное регулирование и взаимосвязь водоотталкивающих защитных свойств покрытий на стали / А.Н.Попова, А.Г.Сырков, И.В.Плескунов, Е.Н.Кулешов // Записки Горного института. СПб, 2006. Т.167. Ч.1. С.299-301.

3. *Сырков А.Г.* Новые твердотельные синтезы и основы нанотехнологии металлов / А.Г.Сырков, А.В.Федотов, Т.В.Стоянова // Конденсированные среды и межфазные границы. 2003. Т.5. № 1. С.11-15.

4. *Ярцев И.К.* О взаимосвязи гидрофобности покрытий на поверхности стали с их защитными свойствами и о роли наноструктурных добавок / И.К.Ярцев, В.Н.Плескунов, А.Г.Сырков // Наноструктурированные металлы и материалы. 2005. № 1. С.36-40.