



*The results of investigation of degradation of Al and Zn coverings on steel samples, carried out by the authors with application of gravitational method, are given.*

А. Г. КУЛИКОВ, В. В. ФИЛАТОВ, А. А. КЕТКОВИЧ,  
МИТХТ им. М.В.Ломоносова, ООО «ТЕХЭКОНТ», Москва

УДК 620.193:197

## ИЗУЧЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ ДЕГРАДАЦИИ МЕТАЛЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гальванические, лакокрасочные и другие покрытия широко применяются для защиты деталей от коррозии, для повышения их износостойкости и других специальных свойств, а также в декоративных целях [1]. Важным показателем покрытия является толщина и равномерность распределения его на поверхности детали. Устойчивое сохранение детали указанных свойств и экономическая целесообразность покрытия определяются его оптимальной толщиной, которая должна выдерживаться в пределах заданного допуска. Нанесение же покрытия сверх оптимальной толщины приводит, по существу, к совершенно бесполезному расходованию цветных металлов, труда и энергии.

Поэтому проведение работ на оптимальных толщинах покрытий требует применения современных методов и приборов для контроля.

Качество покрытия во многом определяется качеством металла основы, поэтому контролю подвергают и покрытие, и основной металл [2].

При контроле основного металла перед покрытием определяют шероховатость поверхности, а также устанавливают, имеются ли на ней дефекты — закатанная окалина, раковины, разного рода включения, заусенцы, вмятины и риски, расслоения и трещины. Металлические покрытия должны отвечать требованиям к внешнему виду, толщине, пористости и прочности сцепления с основным металлом, а также к специальным свойствам.

Методы контроля толщины покрытия по степени воздействия на объект подразделяют на две группы: неразрушающего контроля и разрушающего (в том числе и квазиразрушающего, т.е. не приводящего к необратимой порче объекта измерения). Неразрушающие методы контроля используют в производстве, где необходим 100%-ный контроль покрытий большого количества однотипных изделий, а также в случае изделий малых

форм, сложного профиля конфигурации, высокой стоимости.

Методы контроля толщины покрытий с разрушением изделия делятся на химические, вызывающие нарушение только покрытия, и физические, при использовании которых разрушается целостность не только покрытия, но и самого изделия [3].

Из неразрушающих методов контроля наибольшее распространение получили электромагнитные методы, метод измерения масс, метод прямого измерения. Радиометрический метод измерения толщины высокоэффективен, но, к сожалению, сравнительно редко используется. Толщину покрытий деталей сложной формы в ряде случаев можно определить рентгенотелевизионным методом. Для измерения толщины в особых случаях используют оптический и тепловой методы.

### Электромагнитные методы

Наиболее простым является магнитно-отрывной метод (приборы МТ-2, МТА-2, МТА-2М, МТА-3), используемый для измерения толщины немагнитных покрытий (в том числе гальванических, например химический никель), нанесенных на ферромагнитную основу (МТА-3М). В первом случае принцип действия основан на зависимости силы притяжения постоянного магнита от величины немагнитного зазора между магнитом и ферромагнитным изделием, во втором — на зависимости силы притяжения магнита от толщины ферромагнитного слоя.

К недостаткам метода следует отнести существенную зависимость результатов измерения от шероховатости поверхности формы размеров основания и его магнитных свойств.

### Магнитоиндукционные методы

Эти методы более совершенны. Используются они для тех же целей. В их основу положена регистрация изменения ЭДС в сигнальной обмот-

ке индукционного преобразователя при изменении магнитного сопротивления участка, соответствующего изменению толщины покрытия. Однако и при использовании этого метода результаты зависят от положения датчика. Возрастает погрешность и при измерении толщины тонких покрытий. Использование малогабаритного преобразователя специальной конструкции обеспечивает контроль покрытий на изделиях с криволинейной поверхностью, сложной конфигурации и с низкой чистотой обработки поверхности.

### Вихретоковый метод

В основе вихретокового метода лежит возбуждение и регистрация вторичных полей вихревых токов преобразователем накладного типа. Для обеспечения высокой универсальности частоту электромагнитных колебаний выбирают равной 1–2 МГц. Влияние материала и конфигурации объекта устраняется специальными методами.

Среди вихретоковых приборов необходимо отметить измерители толщины металлизации ИТМ-11Н и ИТМ-21М. Приборы предназначены для измерения толщины слоя металлизации в отверстиях печатных плат. В приборе ИТМ-11Н используется оригинальный преобразователь проходного типа. Прибор ИТМ-21М предназначен для технического и приемного контроля в автоматических поточных линиях производства двусторонних и многослойных печатных плат. В приборе использован вихретоковый преобразователь и реализован алгоритм определения толщины металлизации на основе решения системы нелинейных алгебраических уравнений с учетом вариации параметров объекта контроля.

### Метод прямого измерения

Сущность метода заключается в измерении размеров изделия до и после покрытия. Измерения производят с помощью микрометра или оптиметра. При использовании оптиметра точность существенно возрастает.

### Гравиметрический метод

Метод заключается во взвешивании детали на аналитических весах до и после покрытия. Этот метод применим только для мелких изделий, которые могут быть взвешены и измерены с достаточной степенью точности (массой не более 200 г).

Средняя толщина покрытия (мкм) может быть рассчитана по формуле:

$$H_{cp} = (m_1 - m_2) \cdot 10000 / S \rho,$$

где  $m_1$  — масса детали после нанесения покрытия, кг;  $m_2$  — масса детали до нанесения покрытия или после его снятия, кг;  $S$  — площадь поверхности покрытия, м<sup>2</sup>;  $\rho$  — плотность металла покрытия, кг/м<sup>3</sup>.

### Радиометрический метод измерения толщины покрытий

Широко известно применение обратного рассеяния  $\beta$ -излучения для контроля толщины покрытий, оксидных пленок и т.д. Метод позволяет измерять толщины любых покрытий как металлических, так и диэлектрических, нанесенных на основания из самых разнообразных материалов. Метод оперативен, удобен и более точен.

Поток  $\beta$ -частиц, двигаясь в какой-либо среде, меняет начальное направление своего движения. По мере увеличения толщины вероятность движения частицы в обратном направлении возрастает и плотность потока обратимо-рассеянного  $\beta$ -излучения увеличивается. Но наряду с этим растет и вероятность потери энергии и поглощения частицы веществом. Поэтому с ростом толщины увеличение потока замедляется и достигает предельного значения, называемого толщиной насыщения. Значение толщины насыщения зависит от порядкового номера атомов металла покрытия.

При исследовании деградации на внутренних поверхностях наиболее приемлем гравиметрический метод.

Ниже приводятся результаты исследования деградации покрытий из Al и Zn на стальных образцах, проведенных авторами с применением гравиметрического метода.

На полированную поверхность образца стали разной формы электрохимическим методом нанесли защитный слой алюминия или цинка толщиной порядка 70 и 200 мкм. Образцы помещали в термостат, содержащий водный раствор поверхностно-активного вещества разной природы с концентрацией, указанной в таблице, которая ниже концентрации мицеллообразования [4]. Кинетические изменения толщины при температурных воздействиях контролировали весовым методом на аналитических весах с точностью до  $10^{-7}$  г. Для увеличения скорости деградации защитного слоя образцы нагревали до температуры 250°C, а затем помещали в жидкий азот через каждые 5 сут, что соответствует пребыванию экранирующего слоя металла в агрессивной среде в течение двух лет. Появление трещины приводило к отторжению защитного слоя самопроизвольно в результате возникающего «расклинивающего давления» энтропийного характера [5] только после пребывания образцов в течение 60 сут воздействия.

На образцах без защитного слоя пятна коррозии появились через 5–7 сут и ускорение воздействия среды проявлялось интенсивнее после температурно-временных испытаний.

Проведенный эксперимент убедительно доказывает необходимость металлизации стальных труб как с внешней, так и с внутренней поверхности для исключения коррозии и увеличения срока службы их до 20–30 лет.

Деградация металлизированного покрытия толщиной 70/200 мкм в водном растворе  
поверхностно-активных веществ

Алюминивание

Название ПАВ и его концентрация	Время и температура воздействия					
	сут, температура 40°C			сут, температура 90°C		
	10	30	60	10	30	60
Олеат натрия, $3,2 \cdot 10^{-4}$ моль/л	72 202	69 194	64 190	67 196	64 188	59 179
Хлортрифторэтилен, $0,64 \cdot 10^{-4}$ моль/л	68 191	60 182	57 180	65 187	57 175	52 170
Оксиэтилированный спирт ОС-12, $2,7 \cdot 10^{-4}$ моль/л	70 193	67 190	66 187	68 191	64 185	60 183
Бромид додецилтриметиламмоний, $1,03 \cdot 10^{-5}$ моль/л	66 182	60 177	51 163	63 172	54 168	51 157

Оцинкование

Название ПАВ и его концентрация	Время и температура воздействия					
	сут, температура 40°C			сут, температура 90°C		
	10	30	60	10	30	60
Олеат натрия, $3,2 \cdot 10^{-4}$ моль/л	68 205	66 201	65 194	67 197	63 194	59 189
Хлортрифторэтилен, $0,64 \cdot 10^{-4}$ моль/л	71 197	70 191	68 190	68 184	65 180	63 173
Оксиэтилированный спирт ОС-12, $2,7 \cdot 10^{-4}$ моль/л	72 197	71 194	68 188	70 193	68 190	67 186
Бромид додецилтриметиламмоний, $1,03 \cdot 10^{-5}$ моль/л	69 194	66 187	61 173	66 184	61 180	54 165

Литература

1. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. М.Л.: Химия, 1966.
2. Bennet L. A. Applied Optics, 1981. Vol. 20. P. 60–63.

3. Вавитов А. М. и др. Приборы и методы контроля толщины покрытий, М.: Машиностроение, 1970.
4. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1988.
5. Адамсон А. Физическая химия поверхности. М.: Мир, 1979.