

Сясько В.А,
Ивкин А.Е
ЗАО «Константа»

Методы и средства измерения толщины металлических покрытий

*Представлены обзор и анализ различных методов измерения
толщины гальванических покрытий*

Введение

Из всего разнообразия типов покрытий, применяемых в машино- и приборостроительных производствах, металлические покрытия являются наиболее распространенными. Основную массу металлических покрытий составляют антикоррозионные защитные покрытия, например, цинковые, кадмиевые, хромовые, никелевые покрытия на изделиях из черных и цветных металлов. Одновременно с защитными функциями металлические покрытия могут играть роль декоративных покрытий, обеспечивая изделиям привлекательный внешний вид. Функциональные покрытия служат для придания поверхностям изделий и деталей специальных свойств – износостойких, антифрикционных, теплозащитных, электропроводящих и др. В качестве материалов покрытий используется 24 металла и 34 сплава, для нанесения покрытий используется 8 методов [1]. Повышение требований к техническим характеристикам и качеству выпускаемых изделий обуславливает развитие технологических процессов нанесения защитных покрытий. Расширяется гамма материалов, используемых в качестве металлических покрытий, модернизируются существующие и разрабатываются новые технологические процессы их нанесения. Одним из основных параметров качества покрытий является заданное значение их толщины. Этот параметр является наиболее важным с точки зрения обеспечения функционального назначения. Например, антикоррозионные свойства защитного покрытия являются непосредственной функцией его толщины; в акустических системах толщина

покрытия влияет на параметры волноводов; коэффициент отражения покрытых поверхностей в оптических устройствах так же зависит от оптической толщины покрытий и т.д. В современных условиях ряд используемых материалов для покрытий имеет все более возрастающую стоимость, поэтому ужесточение технологических допусков и снижение погрешностей измерений позволяет обеспечить существенную экономию денежных средств.

В современной промышленности часто возникает ситуация, при которой покрытия должны обеспечивать параметры, взаимноисключающие друг друга, или не выполнимые в полном объеме с применением только однослойного металлического покрытия. Для обеспечения таких требований применяется большая гамма многослойных металлических покрытий.

В настоящее время для контроля толщины покрытий разработано достаточно методов разрушающего и неразрушающего контроля, основанных на различных физических принципах. Рассмотрим некоторые из них более подробно.

Кулонометрический метод измерения толщины металлических покрытий

Кулонометрический метод измерения толщины покрытий основан на анодном растворении покрытия и фиксации времени, требуемого для его растворения. Удаление металлического покрытия с поверхности изделия путем пропускания электрического тока в определенных условиях является процессом,

обратным гальванизации. Связь между толщиной T и площадью удаляемого покрытия, его характеристиками, силой тока и временем, необходимым для его растворения описывается выражением:

$$T = (a/S\rho)It, \quad (1)$$

где a , ρ – электрохимический эквивалент и плотность измеряемого металла, соответственно; S – площадь зоны травления; I – сила тока в течение всего измерения; t – потраченное на измерение время с момента включения тока до скачкообразного изменения потенциала.

Площадь зоны измерения определяется диаметром уплотнительного кольца измерительной ячейки преобразователя, и является постоянной величиной. При постоянной силе тока I , измеряемая величина T становится только функцией потраченного времени

$$T = h_1 t, \quad (2)$$

где h_1 – толщина слоя, снимаемая в заданном режиме за единицу времени (скорость травления).

На рис. 1 изображено схематическое представление кулонометрического метода измерения.

Электролиты подбираются таким образом, чтобы снятие покрытия происходило только под воздействием постоянного тока. Для обеспечения постоянных условий измерения, используется насос, который непрерывно перемешивает электролит в измерительной ячейке.

При протекании тока I через измерительную ячейку напряжение U

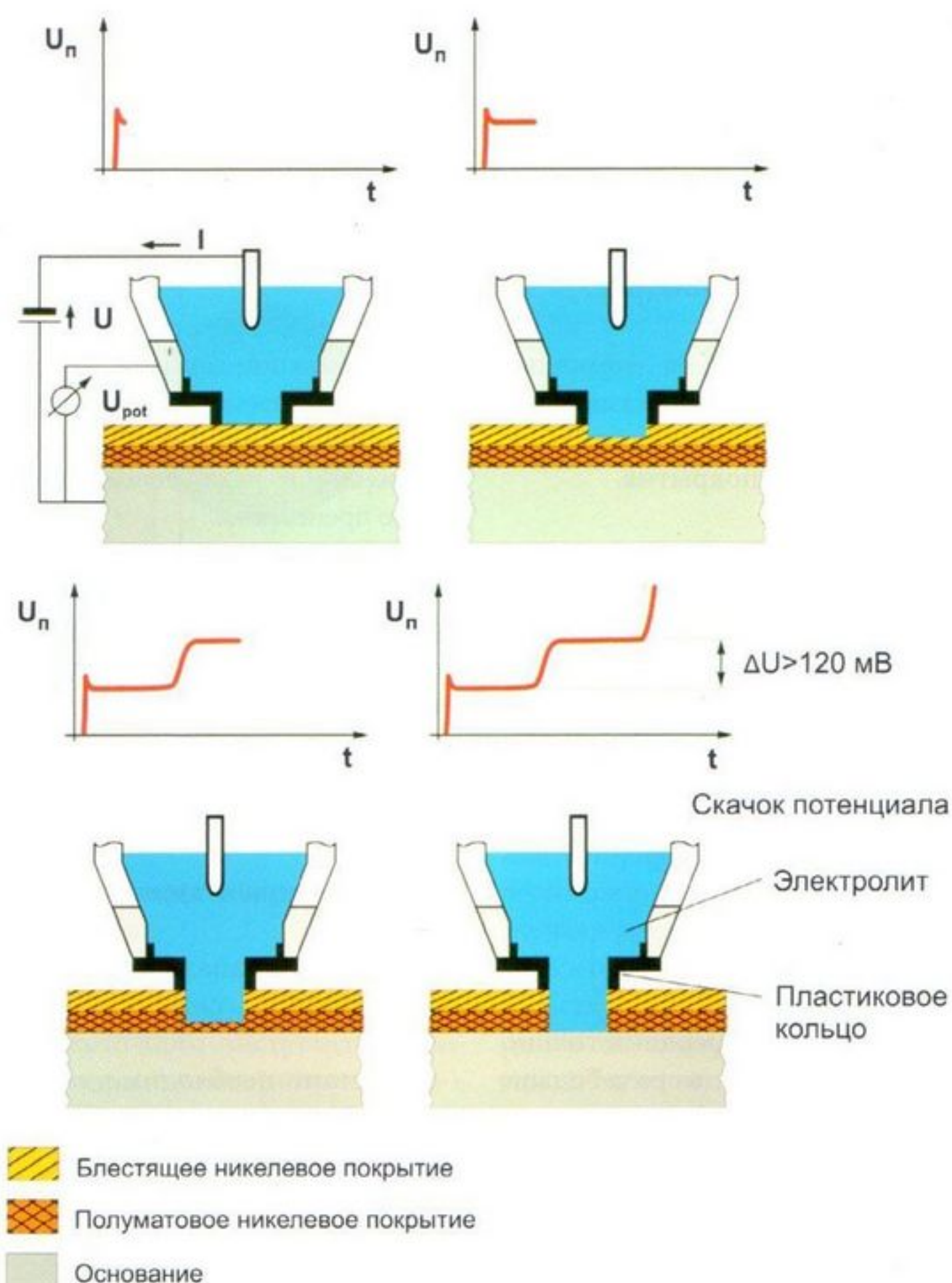


Рис. 1. Схематическое представление кулонометрического метода измерения многослойных покрытий (на примере измерения блестящего и матового никелевых покрытий)

остаётся практически постоянным до момента, когда покрытие полностью не разрушено. В момент разрушения происходит "скачок потенциала" (увеличение напряжения U).

Рассчитав коэффициент h_i для каждого типа покрытия можно отградуировать счетчик времени в единицах толщины. Засекая время между скачками потенциала, вычисляется толщина покрытия.

В связи с тем, что в данном методе осуществляются косвенные измерения, для градуировки применяют меры толщины покрытий. При этом достаточно, чтобы

меры воспроизводили лишь одну из комбинаций материалов покрытия и основания, например медь на диэлектрике, и это гарантирует точность измерения для других комбинаций материалов, например медь на стали или цветных металлах.

По своей природе кулонометрический метод является разрушающим, но при малой разрушаемой площади, надлежащем выборе мест измерений на крупных изделиях или использовании образцов свидетелей этот недостаток преодолим. Для случаев, когда разрушение покрытия на изделиях недопустимо, разработаны ку-

лонометрические толщинометры с возможностью восстановления гальванического покрытия. Для восстановления гальванического покрытия на изделии после проведения измерений в измерительной ячейке заменяют электролит, меняют полярность электрода и пропускают ток в течении требуемого времени, суммарное время измерения толщины покрытия при этом возрастает примерно в 2-2,5 раза.

К основным достоинствам кулонометрического метода измерения толщины металлических покрытий можно отнести:

- нечувствительность к технологии нанесения покрытий;
- нечувствительность к рецептурным особенностям электролитов;
- низкую чувствительность к изменению геометрии поверхности;
- возможность измерения большой номенклатуры однослойных и многослойных металлических покрытий в диапазоне от 50 нм до 75...100 мкм;
- малый диаметр зоны измерения (от 0,25 мм).

К недостаткам кулонометрического метода можно отнести:

- достаточно большую относительную погрешность измерения, которая составляет 5...7%;
- сложную методику проведения измерений и сложное оборудование;
- необходимость использования электролитов;
- при измерениях возможен только выборочный контроль толщины покрытий в лабораторных условиях;
- относительно высокую стоимость оборудования и расходных материалов.

Выводы

Толщинометры на основе кулонометрического метода позволяют измерять практически все металлические покрытия в широком диапазоне толщин в лабораторных условиях. Они представляют интерес при отладке и поддержании на соответствующем уровне технологий нанесения покрытий (особенно малой толщины) в условиях массовых производств.

Метод шарового истирания

Метод измерения толщины шаровым истиранием основан на измерении отпечатка, возникающего при микроабразивном износе, путем воздействия вращающегося стального шарика на образец, с добавлением абразивных эмульсий. В месте контакта образуется кратер сферической формы – калотта (calotte), поэтому прибор для обеспечения такого вида измерений за рубежом получил название калотестер (calotester) или каловер (calowear) [2].

На рис. 2 изображена схема толщинометра, реализующего метод шарового истирания.

Стальной гладкий шарик имеет две точки опоры – на вращающийся приводной вал и на плоскость образца. Нагрузка в зоне контактного трения определяется массой шарика и углом наклона образца. Износ обеспечивается добавлением абразивной суспензии, содер-

жащей взвешенные в воде частички SiC, алмаза и др.

В зоне контакта образуется кратер износа сферической формы, на котором наблюдаются две характерные зоны: зона износа покрытия и зона износа основания (рис.3).

По полученным с помощью оптических средств измерений размерам этих зон рассчитывается толщина покрытия.

Формула для вычисления толщины покрытия на плоских и цилиндрических изделиях (в соответствии с обозначениями на рис. 3):

$$T = \frac{1}{2} (\sqrt{4R^2 - d^2} - \sqrt{4R^2 - D^2}) \approx \frac{xy}{2R} \quad (3)$$

Формула для вычисления толщины покрытия на сферических изделиях:

$$T = \frac{xy}{2} \left(\frac{1}{Rb} + \frac{1}{R} \right) = xy \left(\frac{1}{Db} + \frac{1}{D} \right) \quad (4)$$

Погрешность измерения толщины покрытия T в два раза больше погрешности измерения размеров кратера x и y :

$$\Delta T = 2\Delta(x, y) \quad (5)$$

Погрешность измерения линейных размеров миллиметрового диапазона современных инструментальных измерительных микроскопов составляет менее 1%, следовательно, погрешность измерения покрытий микрометрового диапазона будет не более 1-2%, что позволяет измерять малые толщины металлических покрытий

с погрешностью, на уровне сотых долей мкм.

Для более четкой различимости границ кратера возможна обработка исследуемого образца различными травящими составами.

Метод шарового истирания является разрушающим методом, но при малой разрушаемой площади покрытия и надлежащем выборе мест измерений, в ряде случаев этим можно пренебречь.

Основным достоинством данного метода является то, что на результаты измерения не влияют физико-химические свойства покрытия и основания.

К достоинствам можно отнести так же:

- малую погрешность измерения;
 - широкий диапазон измеряемых толщин;
 - отсутствие необходимости калибровки;
 - простую методику проведения измерений;
 - возможность измерения многослойных покрытий.
- К недостаткам данного метода можно отнести:
- косвенное измерение толщины пересчетом результатов измерения линейных размеров оптическими средствами измерения;

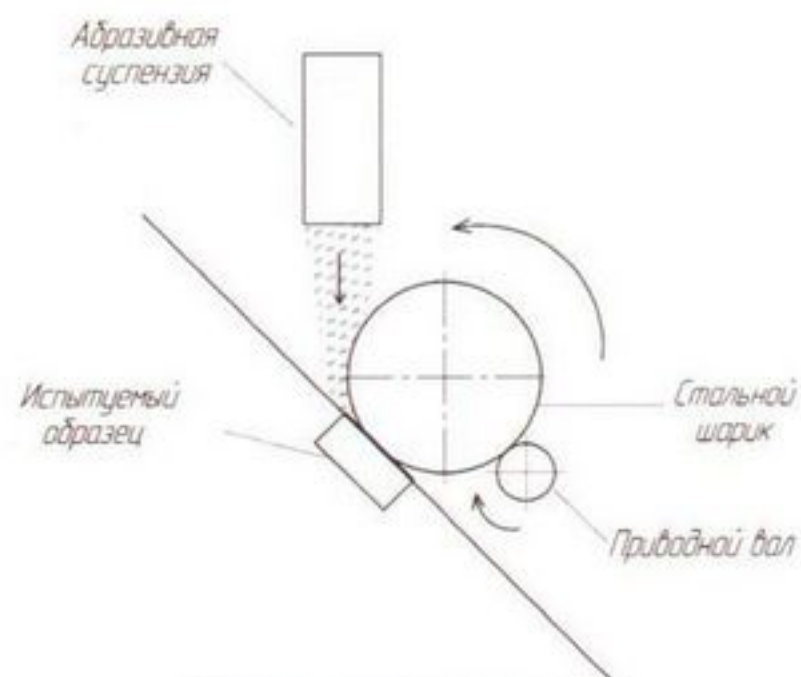


Рис. 2. Схема и внешний вид толщинометра шарового истирания

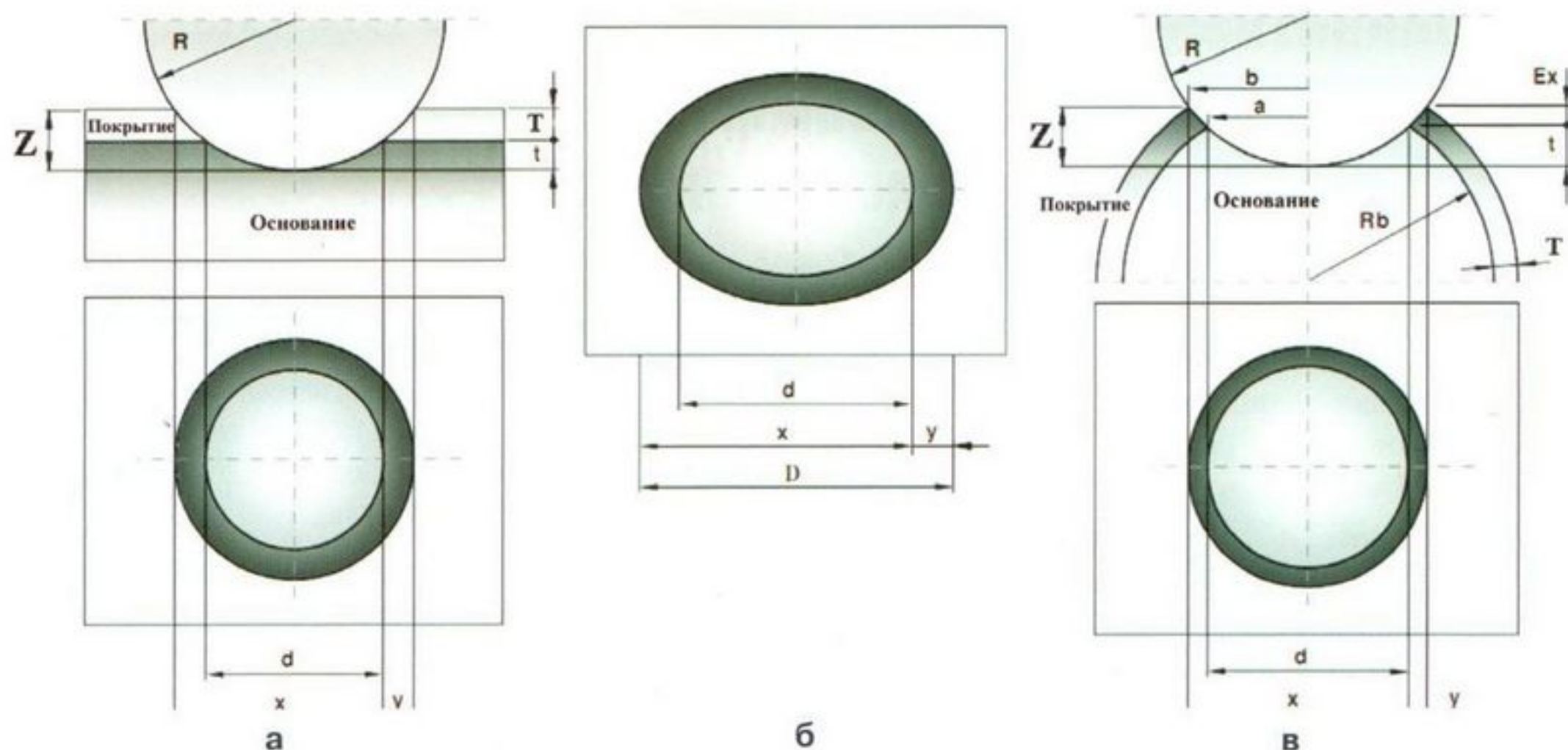


Рис. 3. Внешний вид кратера износа: а) плоского образца; б) цилиндрического образца; в) сферического образца.

- относительно трудоемкий процесс измерения;
- разрушение покрытия в зоне измерения;
- необходимость использования высокоточного инструментально-го измерительного микроскопа;
- возможность проведения измерений в условиях, близких к лабораторным.

Выводы

Метод шарового истирания целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо исключить влияние физико-химических свойств покрытия и основания на результат измерения, например для аттестации образцов покрытий, для калибровки электромагнитных толщиномеров. Трудоемкость метода и разрушение

покрытия в зоне измерения делает его неэффективным в качестве основного средства измерения толщины покрытий в условиях серийного и массового производства.

*Продолжение
читайте
в следующем номере*

КОНСТАНТА®
приборы неразрушающего контроля

ЗАО «КОНСТАНТА» 198095, Санкт-Петербург, а/я 42,
тел./факс: (812) 372 2903; тел: (812) 372 29 04;
e-mail: office@constanta.ru

КОНСТАНТА-К6

СЕРТИФИКАТ RU.C.26.002.A № 12361

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР
ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ВСЕХ ТИПОВ.**

КОНСТАНТА-Ш1

СТАНДАРТ DIN EN 1071-2

**ТОЛЩИНОМЕР ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ВСЕХ ТИПОВ,
В ТОМ ЧИСЛЕ, МНОГОСЛОЙНЫХ
(МЕТОД ШАРОВОГО ИСТИРАНИЯ).**

constanta.ru