

В.А. Сясько,  
А.Е. Ивкин,  
ЗАО «Константа»

## Метрологическое обеспечение вихретоковых толщиномеров гальванических покрытий

*Приведен обзор различных видов вихретоковых толщиномеров, описаны методы их калибровки, указаны факторы, влияющие на точность измерений*

Металлические покрытия являются наиболее распространенными в машиностроительных производствах. Для нанесения этих покрытий применяется восемь методов нанесения и большое число металлов и сплавов [2]. Данные покрытия выполняют, прежде всего, функции защиты от коррозии, декоративные покрытия обеспечивают привлекательный вид изделий и удобство обращения с ними, защитно-декоративные покрытия выполняют обе функции. Специальные (технические) покрытия служат для придания поверхностям изделий и деталей определенных свойств – износостойких, антифрикционных, теплозащитных, электропроводящих и др.

В условиях современных производств, особенно приборостроительных, широкое распространение имеют изделия из цветных металлов и сплавов с покрытиями из электропроводящих неферромагнитных металлов и сплавов. Самое широкое применение получили, например, хромовые, оловянные, медные, никелевые, серебряные покрытия изделий из меди и ее сплавов, алюминиевых сплавов и т.д. Диапазон толщин обозначенных покрытий составляет, как правило, от 0,5 до 25 мкм.

Для защиты от коррозии стальные изделия, как правило, покрывают цинком, никелем или хромом. Толщина этих защитных покрытий обычно не превышает 50 мкм.

Представляет интерес решение указанных выше задач измерения толщины покрытий с использованием вихретокового вида контроля.

Для измерения толщины электропроводящих ферро- и неферромагнитных покрытий на электропроводящих основаниях при условии, что относительная электропроводность покрытия и основания  $\sigma_p/\sigma_o \approx 6 - 30$  (например, медь на нержавеющей стали, серебро на латуни, цинк на стали) широко используется вихретоковый фазовый метод измерения толщины покрытий.

Для задач контроля толщины покрытий, для которых  $\sigma_p/\sigma_o \approx (0,11 - 0,55) < 1$  (например, олово на меди и медных сплавах) возможно применение вихретокового амплитудно – фазового метода измерения, т.к. у вихретокового фазового метода практически отсутствует чувствительность в области толщин покрытий до 20 мкм.

В общем случае вихретоковые методы измерения толщины металлических покрытий основаны на анализе взаимодействия собственного электромагнитного поля первичного преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте, зависящих от толщины покрытия  $T_p$ ,  $\sigma_p$ ,  $\sigma_o$  и геометрических характеристик основания и покрытия (диаметра  $d$ , шероховатости  $R_z$  и др.), а также величины зазора  $h$  между металлическим покрытием и контактной поверхностью преобразователя.

Современные средства измерения, основанные на вихретоковых методах, позволяют проводить измерения толщины электропроводящих покрытий на электропроводящих ферро- и неферромагнитных изделиях в диапазоне от 1 до 30-50 мкм с основной абсолютной погрешностью измерения  $\Delta T_p$  не более  $\pm (1 - 2)$  мкм.

Калибровку вихретоковых толщиномеров в соответствии с Государственной поверочной схемой [1] следует проводить с использованием рабочих средств измерений – мер толщины покрытий различных сочетаний материалов оснований и покрытий, сгруппированных по назначению, с пределом допускаемой абсолютной погрешности изготовления  $\Delta_{pc}(h) \leq \pm ((0,2 - 0,3) + 0,05h)$  мкм.

В общем случае калибровка вихретоковых преобразователей представляет процедуру установки чувствительности с использованием комплекта натуральных мер толщины покрытия и установку нуля на образце реальной продукции без покрытия.

Для обеспечения погрешности измерения  $\Delta T_p \leq \pm 1$  мкм при доверительной вероятности  $p = 0,99$  в области малых толщин, меры толщины покрытий должны быть изготовлены и аттестованы с погрешностью на уровне  $\pm 0,3$  мкм.

На данный момент в нашей стране сложилось весьма сложное положение с обеспечением единства измерений толщины покрытий, особенно гальванических.

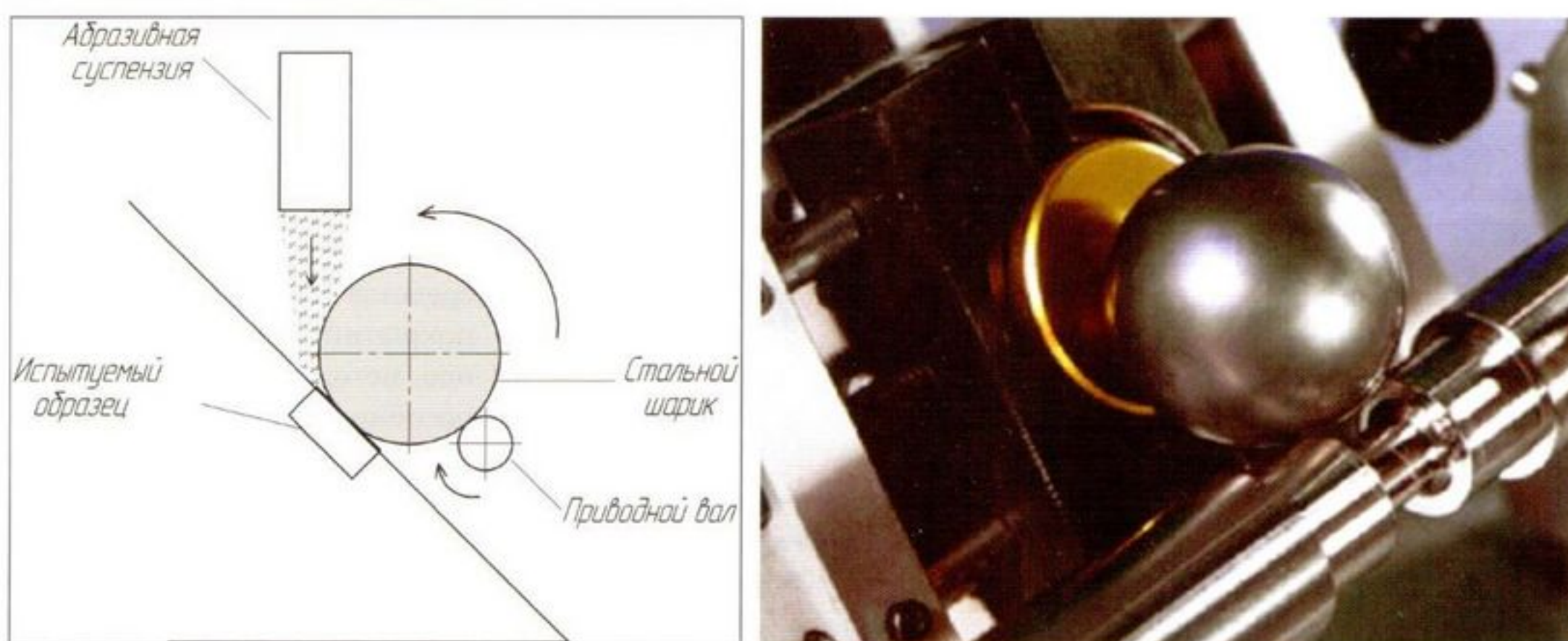


Рис. 1. Схема и внешний вид толщиномера шарового истирания

ГОСТ 25177-82 «Меры толщины покрытий образцовые», являющийся руководящим документом, на данный момент не действителен. Единственным утвержденным нормативным документом является 50.2.006-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений толщины покрытий в диапазоне от 1 до 20000 мкм» [3].

Несмотря на то, что на результаты показаний вихретоковых толщиномеров существенно влияют физические параметры основания и покрытия меры, такие как электропроводность и магнитная проницаемость [4], поверочная схема предусматривает контроль только геометрических параметров.

Для аттестации ступенчатых мер толщины покрытий предполагается применение профилометрического метода измерения. Данный метод накладывает существенные требования к плоскостности и параллельности поверхностей основания мер. Подготовка оснований требует большого числа технологических операций, в числе которых очень трудоемкая и дорогостоящая операция доводки на специальном оборудовании. Определенные сложности так же возникают при нанесении покрытия не на всю поверхность меры, а на ограниченный сектор.

Иногда, в силу ряда причин, не представляется возможным изготовление плоскопараллельных металлических мер толщины, т.к. их характеристики не будут соответствовать реальным. В нормативной документации нет никаких рекомендаций по тому, как осуществлять аттестацию таких мер.

Наиболее перспективным методом аттестации натуральных мер толщины металлических покрытий является метод шарового микрошлифа [5]. Данный метод не предъявляет требований к параллельности сторон плоских мер, а так же позволяет производить аттестацию мер толщины покрытий произвольной формы.

Этот метод 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. На рисунке 1 изображена схема толщиномера, реализующего описываемый метод.

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, содержащей 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. 2).

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 рисунке 2):

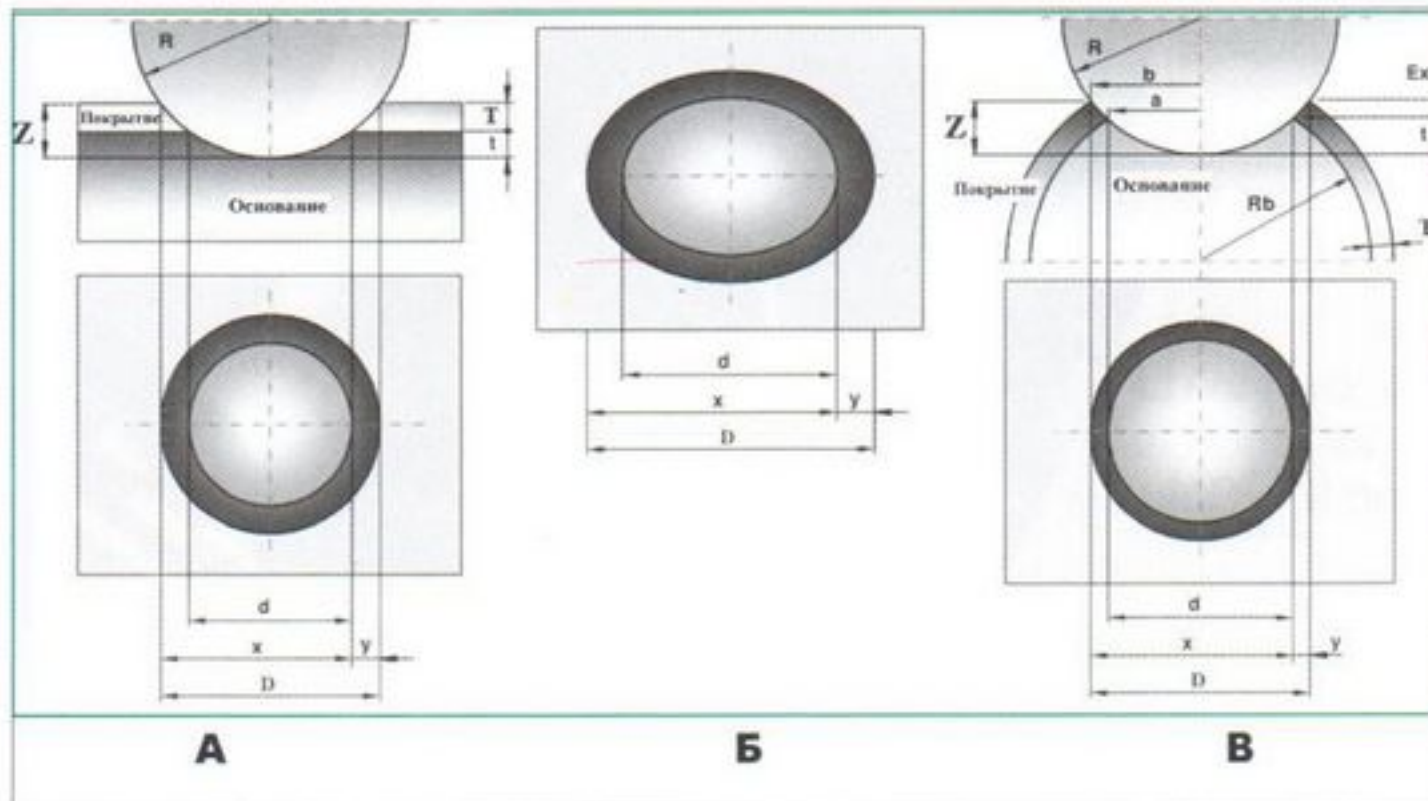
$$T = \frac{xy}{\gamma} \left( \frac{1}{Rh} + \frac{1}{R} \right) = xy \left( \frac{1}{\Gamma h} + \frac{1}{\Gamma} \right)$$

Формула для вычисления толщины покрытия на сферических изделиях:

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

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

Использование данного метода позволяет производить аттестацию толщины покрытия меры с погрешностью не более  $\pm 0,3$  мкм.



**Рис. 2.** Внешний вид кратера износа: А) плоского образца; Б) цилиндрического образца; В) сферического образца

При аттестации толщины покрытия методом шарового микрошлифа необходимым условием является соблюдение требований к качеству рабочей поверхности меры, а именно допуска на форму поверхности и ее шероховатости.

Так, для того, что бы погрешность аттестации меры толщины покрытия не превысила 0,3 мм, шероховатость поверхности основания меры и покрытия не должна превышать Ra 0.2 мкм.

Покрытия на меры должны наноситься по технологиям соответствующим тем, которые применяются в производстве, для которого подготавливается при-

бор, т.к технология получения покрытия может оказывать влияние на его электропроводность. Поэтому оптимальным является нанесение покрытия на меры в условиях производства, которое в дальнейшем будет эксплуатировать прибор, тем самым минимизируются погрешности измерения, вызванные отклонением значения электропроводности покрытия меры и реального изделия.

#### Литература:

1. «Не разрушающий контроль» Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В.Клюева, Том 6, Книга 1,

«Магнитные методы контроля», с: 358, М.: «Машиностроение», 2003 г.

2. Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий. / Научное, методическое, справочное пособие. - СПб.: «Гуманистика», 2009. - 904 с.

3. 50.2.006-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений толщины покрытий в диапазоне от 1 до 20000 мкм».

4. Сясько В.А, Ивкин А.Е Метрология №2 2011 г. Обеспечение достоверности результатов измерений толщины металлических покрытий магнитными и вихретоковыми методами в условиях машиностроительных производств. - М., ФГУП «Стандартинформ»

5. Randall N. Finer particle size allows better coating characterisation with the Calotest // Application Bulletin № 5. URL: <http://www.csm-instruments.com/en/>



## КОНСТАНТА®

КОМПЛЕКТЫ МЕР ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ПОКРЫТИЙ ВСЕХ ТИПОВ



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР  
ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ВСЕХ ТИПОВ

### КОНСТАНТА K6

198095, Санкт-Петербург, а/я 42, тел./факс (812) 372-29-03, 372-29-04