

ИЗМЕРЯЕМ СЛОЙ МЕТАЛЛА

Владимир СЯСЬКО, генеральный директор,
Антон ИВКИН, ведущий специалист ЗАО «КОНСТАНТА» (Санкт-Петербург)

Для определения толщины гальванических покрытий наиболее эффективным методом является метод шарикового микрошлифа.

Металлические покрытия являются наиболее распространенными в машиностроительных производствах. Применяется восемь методов нанесения этих покрытий, используется большое число металлов и сплавов (Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий. / Научное, методическое, справочное пособие. СПб.: «Гуманистика», 2009. 904 с.)

Металлопокрытия выполняют, прежде всего, функции защиты от коррозии. Также используются как декоративные покрытия – обеспечивают привлекательный вид изделий и удобство обращения с ними. Защитно-декоративные металлопокрытия выполняют обе функции. Специальные (технические) покрытия служат для придания поверхностям изделий и деталей определенных свойств – износостойких, антифрикционных, теплозащитных, электропроводящих и других.

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.

Интерес представляет измерение толщины покрытий с использованием вихретокового вида контроля.

Существующие методы контроля

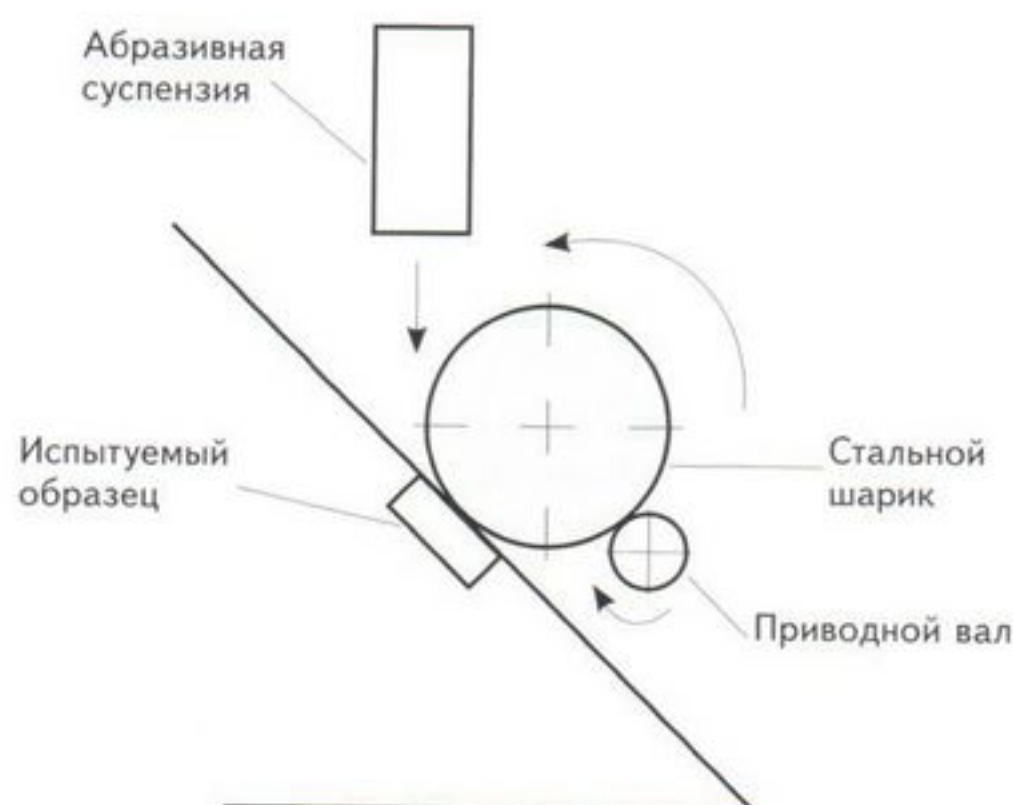
Для измерения толщины электропроводящих ферро- и неферромагнитных

покрытий на электропроводящих основаниях при условии, что относительная электропроводность покрытия и основания $\sigma_n/\sigma_0 \approx 6...30$ (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 $\sigma_n/\sigma_0 \approx (0,11...0,55) < 1$ (например, олово на меди и медных сплавах), возможно применение вихретокового амплитудно-фазового метода измерения, так как 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 , σ_n , σ_0 и гео-

Рис. 1. Схема и внешний вид толщиномера шарового истирания



метрических характеристик основания и покрытия (диаметра d , шероховатости Rz 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 $\Delta T_{п}$ не более $\pm(1...2)$ мкм.

Калибровку вихретоковых толщиномеров в соответствии с Государственной поверочной схемой («Неразрушающий контроль». Справочник в 7 тт. /под ред. чл.-корр. РАН В.В. Клюева, Т. 6, Кн. 1, «Магнитные методы контроля». С. 358, М.: «Машиностроение», 2003) 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 $\Delta_{рс}(h) \leq \pm(0,2...0,3)+0,05h$ 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 $\Delta T_{п} \leq \pm 1$ 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.

ГОСТ 25177-82 «Меры толщины покрытий образцовые», являвшийся руководящим документом, на данный момент недействителен. Единственным утвержденным нормативным документом, регламентирующим толщину гальванических покрытий, являются рекомендации 50.2.006-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений толщины покрытий в диапазоне от 1 до 20000 мкм».

На результаты показаний вихретоковых толщиномеров существенно влияют такие физические параметры осно-

вания и покрытия меры, как электропроводность и магнитная проницаемость (Сясько В.А., Ивкин А.Е. Метрология №2 2011. Обеспечение достоверности результатов измерений толщины металлических покрытий магнитными и вихретоковыми методами в условиях машиностроительных производств. – М., ФГУП «Стандартинформ»). Несмотря на это, рекомендованная поверочная схема предусматривает контроль только геометрических параметров гальванического покрытия.

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 также 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, так как их характеристики не будут соответствовать реальным. В нормативной документации нет никаких рекомендаций по тому, как осуществлять аттестацию таких мер.

Метод микрошлифа

Наиболее перспективным методом аттестации натуральных мер толщины металлических покрытий является метод шарового микрошлифа (Randall N. *Finer particle size allows better coating characterisation with the Calotest // Application Bulletin № 5.* URL: <http://www.csm-instruments.com/en/>). Данный метод не предъявляет требований к параллельности сторон плоских мер, а также позволяет производить аттестацию мер толщины покрытий изделий произвольной формы.

Этот метод основан на измерении отпечатка, возникающего при микроабразивном износе, путем воздействия вращающегося стального шарика на образец. В процессе измерения применяются абразивные эмульсии. В месте контакта шарика с образцом образуется кратер сферической формы. На рис. 1 изображена схема толщиномеров, 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.

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

Формула для вычисления толщины покрытия на плоских и цилиндрических изделиях:

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

Формула для вычисления толщины покрытия на сферических изделиях:

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

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

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

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

Так, для того чтобы 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, что применяются в производстве, для которого подготавливается прибор, так как 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. 