

УДК 620.179.14

## **КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ НА НИКЕЛЕВОМ ОСНОВАНИИ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ**

*А. В. ЧЕРНЫШЕВ, И. Е. ЗАГОРСКИЙ, В. И. ШАРАНДО*

Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

UDC 620.179.14

## **CONTROL OF THICKNESS OF THE CHROME COATING ON THE NICKEL BASE USING EDDY CURRENTS METHOD**

*A. V. CHERNYSHEV, I. E. ZAGORSKIY, V. I. SHARANDO*

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос контроля толщины хромового покрытия вихретоковым методом. Приведены результаты экспериментальных измерений толщины хромового покрытия на образцах с различной удельной электропроводностью. Показано, что для повышения точности измерений толщины хромового покрытия фазовым способом необходимо учитывать величину его удельной электропроводности.

**Ключевые слова:** хромовые покрытия, никелевые покрытия, толщина покрытий, вихретоковые толщиномеры, удельная электропроводность, погрешности контроля.

**Abstract.** The issue of controlling the thickness of the chrome coating by the eddy current method is considered. The results of experimental measurements of the thickness of the chromium coating on samples with different electrical conductivity are presented. It is shown that in order to increase the accuracy of measuring the thickness of the chrome coating by the phase method, it is necessary to take into account the value of its electrical conductivity.

**Key words:** chrome coatings, nickel coatings, coatings thickness, eddy current thickness gauges, conductivity, errors of control.

При изготовлении некоторых деталей космической техники применяют гальваническое хромирование их поверхности электролитическим методом. При этом толщина покрытия должна находиться в определенном интервале ее значений. В частности, при производстве камер сгорания ракетных двигателей на их бронзовый корпус наносят последовательно слои никеля и хрома. Первый из них является ферромагнетиком, второй немагнитен. Для определения толщины хрома могут быть использованы различные физические методы, однако при этом возникают проблемы, связанные с колебаниями свойств используемых материалов в зависимости от условий их нанесения. Соответственно, каждый метод толщинометрии имеет свой объем и характер погрешностей.

Вопросу контроля толщины хромового покрытия на ферромагнитном основании вихретоковым методом посвящено большое количество научных публикаций, разработано много типов вихретоковых толщиномеров [1–3]. Для проводящих неферромагнитных покрытий на ферромагнитном основании возможно подобрать такие параметры накладного вихретокового

преобразователя, частоты  $f$  его тока возбуждения (изменяющегося по гармоническому закону), при которых фаза  $\varphi$  вносимого в преобразователь напряжения линейно зависит от толщины контролируемого покрытия [1–2]. При неизменных остальных параметрах  $\varphi$  зависит от удельной электропроводности  $\sigma$  покрытия. Известно, что электролитически осажденный слой хрома характеризуется непостоянством величины  $\sigma$  [4]. Она может изменяться также при следующей после осаждения термической обработке ввиду сильной зависимости размеров зерен хрома от температуры, так как на границах зерен могут образовываться оксиды хрома. В покрытии могут возникать микротрещины [5]. Следовательно, при определении толщины  $d$  хромового покрытия по измерениям  $\varphi$  можно получить большие погрешности, если калибровочная кривая строилась по измерениям на эталонах с другими значениями  $\sigma$ . Один из вариантов устранения таких погрешностей рассмотрен в данной работе.

Для определения удельной электропроводности хрома измерения  $\varphi$  проводятся при двух различных частотах поля возбуждения. При «низкой» частоте измеряется толщина покрытия, а при «высокой» – его удельная электропроводность или величина, зависящая от нее [1]. Глубина проникновения высокочастотного поля в материал покрытия должна быть значительно меньше наименьшей его толщины, встречающейся при контроле.

Экспериментальные измерения проводились разработанным двухчастотным толщиномером, основанным на фазовом способе контроля. Применяемый в нем фазометр позволяет измерять фазовый сдвиг между двумя гармоническими сигналами с разрешающей способностью  $\pm 0,05^\circ$ . При проведении измерений на «высокой» и «низкой» частоте применяются два различных по конструкции накладных преобразователя.

Измерения были проведены на двух комплектах образцов, вырезанных из реального изделия космической техники. Образцы комплектов № 1 и 2 различались тем, что были изготовлены на разных предприятиях, технологии изготовления изделий на обоих предприятиях считались одинаковыми. Однако, по оценочным определениям, материалы покрытий различались по  $\sigma$ . В комплекте № 1 все образцы имели близкие значения удельной электропроводности хрома, среднее значение которой составляло  $\sigma_1$ . В комплекте № 2 все образцы также имели близкие значения удельной электропроводности хрома, среднее значение которой составляло  $\sigma_2$ , при этом  $\sigma_1 > \sigma_2$ . Результаты измерений при  $f = 350$  кГц приведены на рис. 1, при  $f = 14$  МГц – на рис. 2.

Из рис. 1 следует, что без учета удельной электропроводности хромового покрытия погрешность определения его толщины может быть значительной.

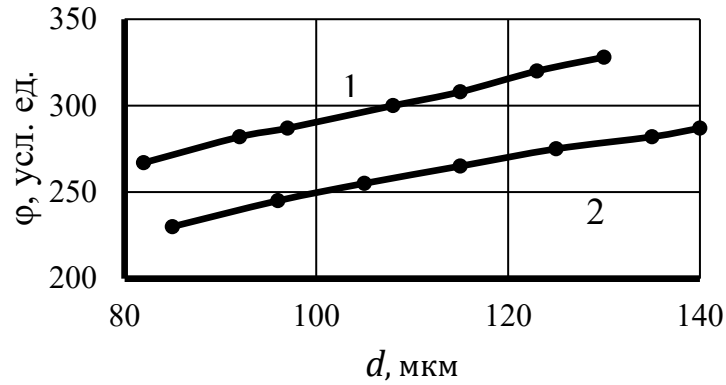


Рис. 1. Зависимость  $\varphi$  от  $d$  при  $f=350$  кГц: 1 – комплект образцов № 1; 2 – комплект образцов № 2

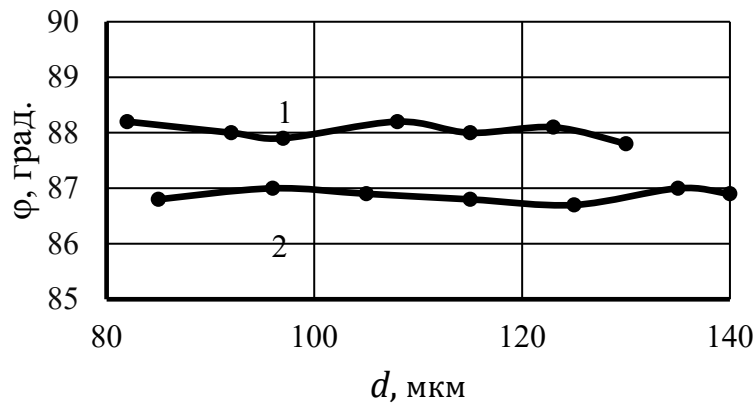


Рис. 2. Зависимость  $\varphi$  от  $d$  при  $f=14$  МГц: 1 – комплект образцов №1; 2 – комплект образцов № 2

На рис. 2 смещение линий 1 и 2 друг относительно друга связано с различием образцов по  $\sigma$  и практически не наблюдается зависимости  $\varphi$  от  $d$ . Для двух рассмотренных комплектов образцов путём измерений на частоте 14 МГц установлено, что  $\sigma_1 > \sigma_2$ . Удельную электропроводность материалов покрытий удаётся здесь выделить в определённый и важный для дальнейшего применения информативный параметр. При этом фазовое измерение числовых значений удельной электропроводности хромового покрытия не осуществлялось ввиду отсутствия аттестованных образцов с различными значениями электропроводностями хрома. При необходимости для определения удельной электропроводности хрома можно использовать выпускаемые серийно измерители импеданса [7].

Методика работы двухчастотного толщиномера состоит в следующем. Вначале определяют показание толщиномера  $\varphi_n$  при высокой частоте поля возбуждения. Затем выбирают из определенных предварительно при низкой частоте калибровочных зависимостей ту, что была получена на образцах, у которых на высокой частоте показание толщиномера также равнялось  $\varphi_n$ .

По выбранной таким способом калибровочной кривой далее и ведётся определение  $d$  при работе толщиномера на низкой частоте.

На практике количество калибровочных кривых ограничено. Предположим, у нас имеются две калибровочные кривые, приведенные на рис. 1. При высокой частоте измерений им соответствуют показания  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , приведенные на рис. 2. Для определения калибровочной кривой для образца, у которого  $\varphi_1 < \varphi_n < \varphi_2$ , необходимо проанализировать характер изменения калибровочных кривых 1 и 2 при изменении  $\varphi$  от  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$  и определить калибровочную зависимость для образца со значением  $\varphi_n$ . Данная задача наиболее просто решается при линейном характере зависимости  $\varphi$  от  $d$ .

Таким образом, на основе выполненных экспериментальных измерений толщины хромовых покрытий на никелевом основании фазовым способом показано, что повышение точности таких измерений возможно при учёте величины удельной электропроводности хромового покрытия. Такой способ контроля реализован в разработанном в ИПФ НАН Беларуси двухчастотном портативном вихретоковом толщиномере.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дорофеев, А. Л.** Индукционная толщинометрия / А. Л. Дорофеев, А. И. Никитин, А. Л. Рубин. – 2-е изд. – Москва: Металлургия, 1978. – 184 с.
2. **Рубин, А. Л.** Реакция ферромагнитного полупространства с немагнитным слоем на датчик накладного типа / А. Л. Рубин, В. Г. Пахомов // Дефектоскопия. – 1974. – № 3. – С. 36–41.
3. **Ноймайер, П.** Вихретоковый фазовый метод измерения толщины гальванических покрытий / П. Ноймайер // В мире неразрушающего контроля. – 2008. – № 2 (40). – С. 29–30.
4. **Brenner, A.** Physical Properties of Electrodeposited Chromium / A. Brenner, P. Burkhead, C. Jennings // Journal of Research of the National Bureau of Standards. – 1948. – Vol. 40. – P. 31–59.
5. **Brittain, C. P.** The Influence of Annealing on the Structure and Hardness of Electrodeposited Chromium / C. P. Brittain, C. C. Smith // The International Journal of Surface Engineering and Coating. – 1954. – Vol. 31. – P. 146–152.
6. **Соболев, В. С.** Накладные и экранные датчики / В. С. Соболев, Ю. М. Шкарлет. – Новосибирск: Наука, 1967. – 144 с.
7. Измерение электромагнитных параметров мер толщины металлических покрытий / В. А. Сясько [и др.] // Дефектоскопия. – 2018. – № 10. – С. 25–36.

E-mail: lab5@iaph.bas-net.by.