

ОТЗЫВ

к.ф.-м.н., доцента Степановой Елены Александровны
на диссертацию Васильева Александра Сергеевича
«Метрологическое обеспечение измерений поверхностной плотности и массовой доли
элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях с
применением метода рентгенофлуоресцентного анализа», представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности:
2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

Диссертационная работа Васильева Александра Сергеевича направлена на развитие и совершенствование метрологического обеспечения измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке двух физико-математических моделей, основанных на применении государственного первичного эталона единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов ГЭТ 168-2015, реализующего рентгенофлуоресцентный метод анализа (РФА):

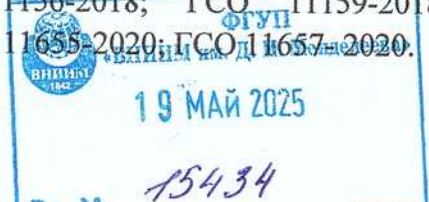
- модели измерений поверхностной плотности многослойных однокомпонентных металлических покрытий для учёта влияния ослабления интенсивности рентгенофлуоресцентного излучения верхними слоями покрытия;
- модели измерений массовой доли элементов и поверхностной плотности однослойных многокомпонентных металлических покрытий с учетом коэффициентов чувствительности каждого элемента.

На основе результатов исследования моделей разработана методика измерения поверхностной плотности и массовой доли элементов покрытий методом РФА, которая обеспечивает измерение поверхностной плотности покрытия в диапазоне $(0,1-60) \text{ г/м}^2$ с относительной расширенной неопределенностью $(2,5-5,0) \%$ для многослойных однокомпонентных покрытий и измерение массовой доли элементов в покрытии в диапазоне $(1-100) \%$ с относительной расширенной неопределенностью $(5-15) \%$ и поверхностной плотности покрытия в диапазоне $(0,1-300) \text{ г/м}^2$ с относительной расширенной неопределенностью $(2,5-5,0) \%$ для однослойных многокомпонентных покрытий.

Практическая значимость работы состоит в разработке с применением разработанной методики измерений и внедрении 22 новых типов стандартных образцов (СО), включая:

- 17 типов стандартных образцов поверхностной плотности двухслойных однокомпонентных покрытий, обеспечивающих передачу единицы поверхностной плотности покрытия в диапазоне $(7 - 180) \text{ г/м}^2$ с относительной погрешностью $\pm 2,5 \%$ для верхнего слоя и $\pm 5,0 \%$ для нижнего слоя;
- 5 типов стандартных образцов поверхностной плотности и массовой доли элементов для однослойных многокомпонентных покрытий, обеспечивающих передачу единицы массовой доли элементов в покрытиях в диапазоне $(1-100) \%$ с относительной погрешностью $\pm (3-9) \%$ и единицы поверхностной плотности покрытия в диапазоне $(0,76-147) \text{ г/м}^2$ с относительной погрешностью $\pm 2,5 \%$.

В настоящее время в научно-исследовательские институты, испытательные лаборатории, предприятия электротехнической промышленности поставлено 29 экземпляров стандартных образцов утвержденных типов: ГСО 11156-2018; ГСО 11159-2018; ГСО 11650-2020; ГСО 11651-2020; ГСО 11653-2020; ГСО 11655-2020; ГСО 11657-2020.



Актуальность и новизна избранной диссертантом темы не вызывает сомнений. Постановка темы обусловлена нарастающей востребованностью в стандартных образцах, предназначенных для воспроизведения и передачи единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях рентгенофлуоресцентным измерителям параметров покрытий.

На основе проведенных исследований актуализирована государственная поверочная схема для средств измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях, в которую включена ветвь, предназначенная для метрологического обеспечения измерений метрологических характеристик многослойных и многокомпонентных металлических покрытий с применением современных измерителей, основанных на методе РФА.

Достоверность научных результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждена положительными результатами сличений Государственного первичного эталона ГЭТ 168-2015 с эталонами других государств в рамках международных пилотных сличений по молярной доле платины в покрытии платина-никель на кремнии и дополнительных сличениях по толщине никелевого покрытия на стали.

Положения, выносимые на защиту, соответствуют основным научным результатам, полученным в ходе диссертационной работы. Не вызывает сомнений новизна полученных результатов, теоретическая и практическая значимость работы, личный вклад автора, апробация работы и её представление в публикациях.

Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Общие замечания

1. В автореферате в разделе «Теоретическая и практическая значимость исследования», пункт 3 ошибочно указано: «Создана и внедрена в практику номенклатура из 22 типов стандартных образцов для воспроизведения и передачи единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов для однослойных многокомпонентных покрытий». Т.е. не указаны 17 типов СО поверхностной плотности многослойных однокомпонентных покрытий, которые входят в эти 22 типа СО.
2. В актуализированной государственной поверочной схеме в полях «рабочие эталоны» и «средств измерений», приведенной на стр. 19, в качестве точностной характеристики приведена относительная погрешность. В тоже время в автореферате используется точностная характеристика - расширенная неопределенность и не показано соотношение между этими двумя точностными характеристиками.

Выводы и рекомендации

Указанные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Опубликованные работы, включая статьи в рецензируемых журналах, свидетельствуют о том, что представленная диссертационная работа отвечает требованиям Положения ВАК РФ о порядке присуждения учёных степеней.

Можно рекомендовать диссертанту продолжить исследования, направленные на совершенствование ГЭТ 168-2015 в части расширения нижней границы диапазона воспроизведения единицы массовой доли, например, до 0,1 %.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Васильев Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени канди-

дата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

12 мая 2025 года

К.ф.-м.н. (специальность 01.04.11 – физика магнитных явлений),
доцент кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов
Института естественных наук и математики
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

 Степанова Елена Александровна

Почтовый адрес: 620000, Россия, г. Екатеринбург,
ул. Мира 19
Телефон: +7 (343) 3899567
e-mail: elena.stepanova@urfu.ru

Подпись Степановой Елены Александровны удостоверяю

И.о. директора ИЕиМ УрФУ
должность




подпись

Зимницкая С.А.