

ОТЗЫВ

кандидата технических наук Бабаджановой Марианны Леоновны
на автореферат диссертации Васильева Александра Сергеевича на тему:
«Метрологическое обеспечение измерений поверхностной плотности и
массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных
металлических покрытиях с применением метода рентгенофлуоресцентного
анализа», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

В автореферате четко обозначена актуальность темы исследования, а так же цель работы, направленная на обеспечение единства измерений в области измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа.

Научную новизну работы составляют основные положения, выносимые автором на защиту:

1. Воспроизведение единицы поверхностной плотности в многослойных однокомпонентных металлических покрытиях с учетом поправки на ослабление интенсивности излучения верхними слоями покрытия по закону Бугера-Ламберта-Бера обеспечивает измерение поверхностной плотности покрытия в диапазоне $(0,1-60) \text{ г/м}^2$ с относительной расширенной неопределенностью $(2,5-5,0) \%$.

2. Воспроизведение единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в однослойных многокомпонентных металлических покрытиях с учетом массовой доли и интенсивности рентгенофлуоресцентного излучения эталонов сравнения (коэффициентов чувствительности) обеспечивает 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 $(2,5-5,0) \%$.



3. Разработанная номенклатура из 17 типов стандартных образцов поверхностной плотности двухслойных однокомпонентных покрытий и 5 типов стандартных образцов поверхностной плотности и массовой доли элементов для однослойных многокомпонентных покрытий обеспечивает 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) г/м² с относительной расширенной неопределенностью (2,5-5,0) %, что сопоставимо с метрологическими характеристиками процедур измерений, применяемых в национальных метрологических институтах других стран.

Теоретические и научные результаты исследований послужили основой для практической значимости работы:

1. Созданные физико-математические модели на основе послойного измерения поверхностной плотности каждого слоя покрытия с учетом поправки на ослабление интенсивности излучения верхними слоями покрытия по закону Бугера-Ламберта-Бера и учета массовой доли и интенсивности рентгенофлуоресцентного излучения эталонов сравнения (коэффициентов чувствительности) обеспечивают возможность воспроизведения и передачи единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов для многослойных многокомпонентных металлических покрытий методом рентгенофлуоресцентного анализа.

2. На основе проведенных исследований актуализирована государственная поверочная схема для средств измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях в части многослойных и многокомпонентных покрытий.

3. Создана и внедрена в практику номенклатура из 22 типов стандартных образцов для воспроизведения и передачи единицы поверхностной плотности для многослойных однокомпонентных покрытий и единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов для многокомпонентных однослойных покрытий с наивысшей в стране

точностью для оценки соответствия и испытания средств измерений в целях утверждения типа.

4. Подтверждены измерительные и калибровочные возможности ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» на уровне Международного комитета мер и весов и Региональной метрологической организации KOOMET посредством проведения международных пилотных сличений CCQM-P229 по измерению молярной доли платины в покрытии сплавом платина-никель на кремнии и дополнительных сличений COOMET.L-S16 по измерению толщины никелевого покрытия на стали.

Работа прошла апробацию в ряде международных научно-технических конференций, основные результаты по теме диссертации изложены в публикациях в ведущих научно-технических изданиях.

Полученные практические результаты могут быть внедрены в метрологических институтах как нашей страны, так и других стран, что позволит обеспечить потребности промышленности, калибровочных и испытательных лабораторий в стандартных образцах поверхностной плотности и массовой доли элементов в многокомпонентных и многослойных металлических покрытиях.

Замечания к автореферату.

1. В тексте в основном используется точностная характеристика - «расширенная неопределенность» и практически нет упоминаний о погрешности или по крайней мере о связи между этими характеристиками. Вместе с тем, в приведенной государственной поверочной схеме на стр. 19 для рабочих эталонов и средств измерений приведены точностные характеристики в виде относительной погрешности.

2. В разделе «Теоретическая и практическая значимость исследования» (пункт 3) не отражены 17 типов СО поверхностной плотности многослойных однокомпонентных покрытий, которые входят в указанные 22 типа СО.

3. На странице 18 приведены предварительные результаты международных пилотных сличений CCQM-P229 по измерению молярной

доли платины в покрытии сплавом платина-никель на кремнии. В тоже время в тексте и на рисунке 3 представлены результаты сличений по массовой доле платины, и не показана связь между этими величинами.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности исследований автора, а также общей значимости диссертации.

Работа представляет собой законченное научное исследование, обладающее внутренним единством, 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 кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Кандидат технических наук

(специальность 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»)

Начальник отдела метрологического обеспечения измерений геометрических параметров ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест»

Бабаджанова Марианна Леоновна

18 апреля 2025 г.

Федеральное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский центр прикладной метрологии - Ростест» (ФБУ «НИЦ ПМ - Ростест»),
119361, г. Москва, ул. Озерная, 46,
+7 (495) 665-30-87, info.ozrn@rostest.ru, www.rostest.ru

Подпись Бабаджановой Марианны Леоновны заверяю

Ведущий специалист

должность
по подраш

М.П.



Круговых О.Ю

Ф.И.О.