

Научная статья

УДК 684.4.059.5, 666.293, 671.2

EDN EQZEBU

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-4-70-92-98>

Елена Ивановна Фигуровская¹

Егор Михайлович Фигуровский²

Ирина Юрьевна Мамедова³

Анна Эдуардовна Дрюкова⁴

Ольга Александровна Зябнева⁵

¹ LenaZhukova2001@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-2876-2934>

² egorfigurovskij@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-9877-2742>

³ mamedova_umu@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-4538-664X>

⁴ amatush@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-9314-051X>

⁵ poltoziab@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-4168-372X>

^{1,2,3,4,5} МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия

ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ И ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ В ДИЗАЙНЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ СТОЙКОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Аннотация. В статье рассматривается стойкость оптически прозрачных эпоксидных смол, сополимер-акрилата и витражной краски, используемых в качестве защитных и декоративных покрытий для металлических поверхностей, при воздействии внешних факторов. Проведено комплексное исследование влияния ультрафиолетового излучения на характеристики этих материалов. В ходе экспериментов оценивались такие параметры, как адгезия к металлу и гидрофобность покрытия. Особое внимание уделено долговечности покрытия при длительном воздействии ультрафиолетового излучения, что позволяет рекомендовать их для использования в изделиях с повышенными требованиями к износостойкости. Полученные результаты позволяют сделать вывод о сравнительных преимуществах и недостатках каждого из рассматриваемых материалов, а также об их пригодности для применения в условиях агрессивных сред. Выводы исследования могут быть полезны для выбора наиболее эффективных покрытий в дизайне ювелирных, бижутерных и прочих художественных изделий.

Ключевые слова: эпоксидная смола, адгезия, гидрофобность, износостойкость, UV-излучение, декоративные покрытия, эмали, дизайн ювелирных изделий

Для цитирования: Выбор защитных и декоративных покрытий в дизайне ювелирных изделий с учетом стойкости к воздействию внешних факторов / Е. И. Фигуровская, Е. М. Фигуровский, И. Ю. Мамедова, А. Э. Дрюкова, О. А. Зябнева // Технологии и качество. 2025. № 4(70). С. 92–98. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-4-70-92-98>.

Original article

Elena I. Figurovskaya¹

Egor M. Figurovsky²

Irina Y. Mamedova³

Anna E. Dryukova⁴

Olga A. Zyabneva⁵

^{1,2,3,4,5} MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

SELECTION OF PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS IN JEWELLERY DESIGN TAKING INTO ACCOUNT RESISTANCE TO THE IMPACT OF EXTERNAL FACTORS

Abstract. The article examines the durability of optically transparent epoxy resins, copolymer acrylate and stained-glass paint used as protective and decorative coatings for metal surfaces when exposed to external factors. A comprehensive study of the influence of ultraviolet radiation on the characteristics of these mate-

rials was carried out. During the experiments, parameters such as adhesion to metal and hydrophobicity of the coating were assessed. Particular attention is paid to the durability of the coating under prolonged exposure to ultraviolet radiation, which allows us to recommend them for use in products with increased wear resistance requirements. The results obtained allow us to draw a conclusion about the comparative advantages and disadvantages of each of the materials under consideration, as well as their suitability for use in aggressive environments. The findings of the study may be useful for choosing the most effective coatings in the design of jewellery, costume jewellery and other artistic products.

Keywords: epoxy resin, adhesion, hydrophobicity, wear resistance, UV radiation, decorative coatings, enamels, jewellery design

For citation: Figurovskaya E. I., Figurovsky E. M., Mamedova I. Y., Dryukova A. E., Zyabneva O. A. Selection of protective and decorative coatings in jewellery design taking into account resistance to the impact of external factors. *Technologies & Quality*. 2025. No 4(70). P. 92–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-4-70-92-98>.

В ювелирном производстве и при изготовлении бижутерии, мастера и специалисты используют различные защитно-декоративные покрытия. Наиболее востребованы и известны среди них чернь [1], так называемые горячие стекловидные эмали [2–4], а также в последнее время все большую популярность приобретают «холодные» эмали [5] на основе различных смол. Работа с чернью и горячими эмалями требует от мастера многолетнего опыта и профессиональных навыков, а также применения дорогостоящего специализированного оборудования, включающего нагревательные приборы и плавильные печи. Преимущества холодной эмали в том, что ее применение намного проще. Она не требует особых навыков нанесения, цвет состава практически не меняется при подготовке, изменении консистенции и окончательном отверждении, подготовка состава для нанесения занимает совсем мало времени, нагревательное оборудование при покрытии не используется. Несмотря на очевидные технологические преимущества, холодные эмали до конца не изучены, и их прочность, эстетичность и долговечность требуют дополнительных исследований.

Целью данной работы является определение прочностных и декоративных свойств покрытий на основе различных смол. В исследовании рассматриваются адгезия пленок с поверхностью металлической основы, их гидрофобность, а также устойчивость исследуемых свойств к воздействию внешних факторов.

Для определения устойчивости к старению было рассмотрено воздействие ультрафиолетового излучения на покрытия. Для исследования применили ускоренный метод испытания [6].

Методика проведения эксперимента

Для исследований выбрали следующие типы покрытий: две разновидности оптически прозрачных эпоксидных смол (с применением аминных отвердителей) Artline crystal epoxy

и Artline crystal honey epoxy, акриловую фотополимерную смолу UV Resin Hard, сополимер-акрилат Holy Rose Base и витражные краски Mixed Media-Vitrail. Для исследования выбраны составы с синим пигментом.


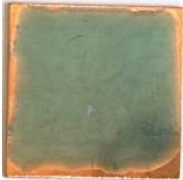



В качестве основы для нанесения покрытий использовали 15 медных пластин марки М1 размером 50×50 мм и толщиной 1,5 мм. Перед нанесением покрытий заготовки предварительно отжигали в течение 5 мин в муфельной печи при 700 °С, после чего обезжирили составом РППГ ТУ. На подготовленные пластины кистью равномерно нанесли исследуемые составы тонким слоем, после чего выдерживали до полного отверждения пленок в соответствии с техпроцессом.

Для определения толщины покрытий использовали толщиномер МВП-2М (рис. 1). Прибор аттестован в Госстандарте России (сертификат RU.C.27.003.A № 16288), зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 25869-03 и допущен к применению в Российской Федерации. Результаты измерений приведены в таблице 1.



Рис. 1. Толщиномер покрытий МВП-2М

Т а б л и ц а 1

Толщина исследуемых покрытий		
Состав	Толщина покрытия, мкм	Образец
1. Artline crystal epoxy	445	
2. Artline crystal honey epoxy	493	
3. UV Resin Hard	653	
4. Holy Rose Base (сополимер-акрилат)	507	
5. Mixed Media-Vitrail (витражные краски)	52	

Заготовки с отвержденными пленками подвергали старению по следующей схеме: исследуемые образцы помещали в камеру и подвергали воздействию УФ-излучения в течение 4 мин. Затем лампу ототключали и 16 мин выдерживали образцы в камере без воздействия излучения. Эту схему выполняли 7 раз. Каждое испытание включает в себя 3 описанных цикла.

Определение стойкости к старению включает в себя измерение краевого угла смачивания (КУС) и энергии поверхностного натяжения пленки до и после воздействия ультрафиолетом. Исследования выполняли на установке Kruss DSA 25 (рис. 2).

Кроме того, выполняли оценку адгезии пленки к основе методом решетчатых надрезов с использованием многолезвийного ножа-адгезиметра Константа КН1 (рис. 3).

Оценку результатов выполняли по параметрам адгезии с поверхностью металла основы и гидрофобности, характеризующим качество защитного покрытия.



Рис. 2. Установка Kruss DSA 25



Рис. 3. Нож-адгезиметр Константа КН1

Гидрофобность покрытия и адгезия.

Краевым углом смачивания называют угол между твердой поверхностью основы и каплей жидкости, определяемый в точке соприкосновения. Показатель краевого угла смачивания характеризует степень межмолекулярного взаимодействия между частицами жидкости и частицами твердой поверхности основы.

Под смачиванием понимают взаимодействие между твердым и жидким веществами, при котором жидкость распределяется по твердой поверхности. Чем выше показатель смачивания, тем больше площадь контакта капли жидкости с твердым телом [7]. Смачивание связано с неравенством адгезии и сцепления. Адгезия формируется за счет сцепления молекул жидких и твердых материалов. Адгезия является свойством, противоположным когезии, которая формирует единство внутри вещества. При более сильной когезии капля жидкости стремится приобрести форму, близкую к шарообразной, при этом площадь ее контакта с твердой поверхностью уменьшается, и угол смачивания имеет может достигать 90° и более. Поверхности, при попадании на которые жидкости приобретают полукруглую форму, называют гидрофобными. Если силы адгезии превышают когезию внутри капли жидкости, то капля растекается по поверхности твердого вещества, образуя меньший угол смачивания. Капли, угол смачивания которых менее 60° , образуются на гидрофильных поверхностях. В качестве примера гидрофильной поверхности и малого угла смачивания можно рассмотреть капли воды на стекле или капли ртути на цинковой пластине. Если угол равен или близок к 0 , то говорят о полном смачивании поверхности и ее супергидрофильности [8].

Исследование гидрофобности проводили методом лежащей капли при температуре 20°C . На образцы наносили в течение 20 с дистиллированную воду с интервалом в 1 с. Результаты замеров для исследуемых покрытий приведены на рисунках 4–8.

На рисунке 9 приведены сравнительные результаты исследования гидрофобности холодных эмалей до и после старения. Как показали исследования, после воздействия ультрафиолетовым излучением гидрофобность большинства покрытий снизилась. Это связано с частичным разрушением поверхностного слоя покрытий, в результате которого поверхность покрывается тонким слоем продуктов распада, снижающих гидрофобность поверхности и значения краевого угла смачивания.

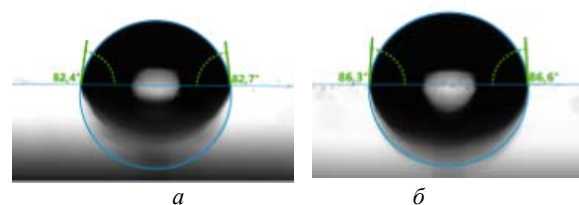


Рис. 4. Значения краевого угла смачивания Mixed Media-Vitrail до (а) и после (б) ускоренных испытаний

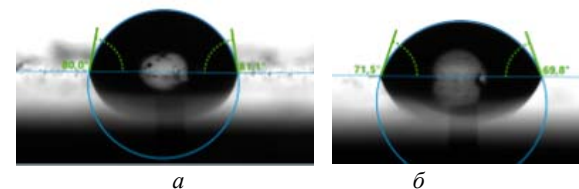


Рис. 5. Значения краевого угла смачивания Artline crystal honey epoxy до (а) и после (б) ускоренных испытаний

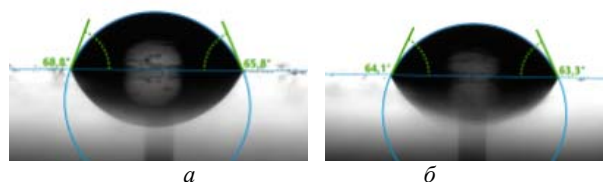


Рис. 6. Значения краевого угла смачивания Artline crystal epoxy до (а) и после (б) ускоренных испытаний

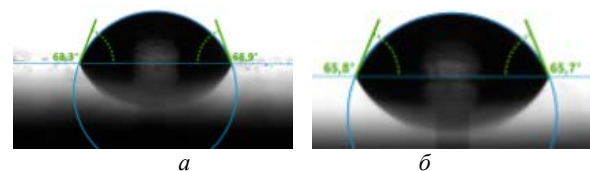


Рис. 7. Значения краевого угла смачивания Holy Rose Base до (а) и после (б) ускоренных испытаний

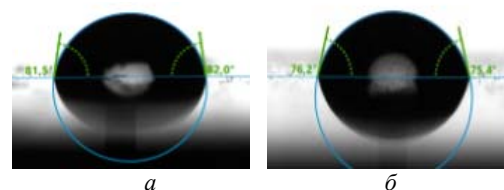


Рис. 8. Значения краевого угла смачивания UV Resin Hard до (а) и после (б) ускоренных испытаний

Оценка адгезии покрытия с металлом.

Оценку адгезии проводили согласно ГОСТ 31149–2014 [9]. На покрытиях выполняли серию перпендикулярных надрезов, вызывая в поверхностных слоях напряжения сдвига. Результат оценивали по целостности и прочности соединения слоя в зонах, прилегающих к надрезам. В таблице 2 приведены результаты исследований на прочность сцепления покрытий с основой.

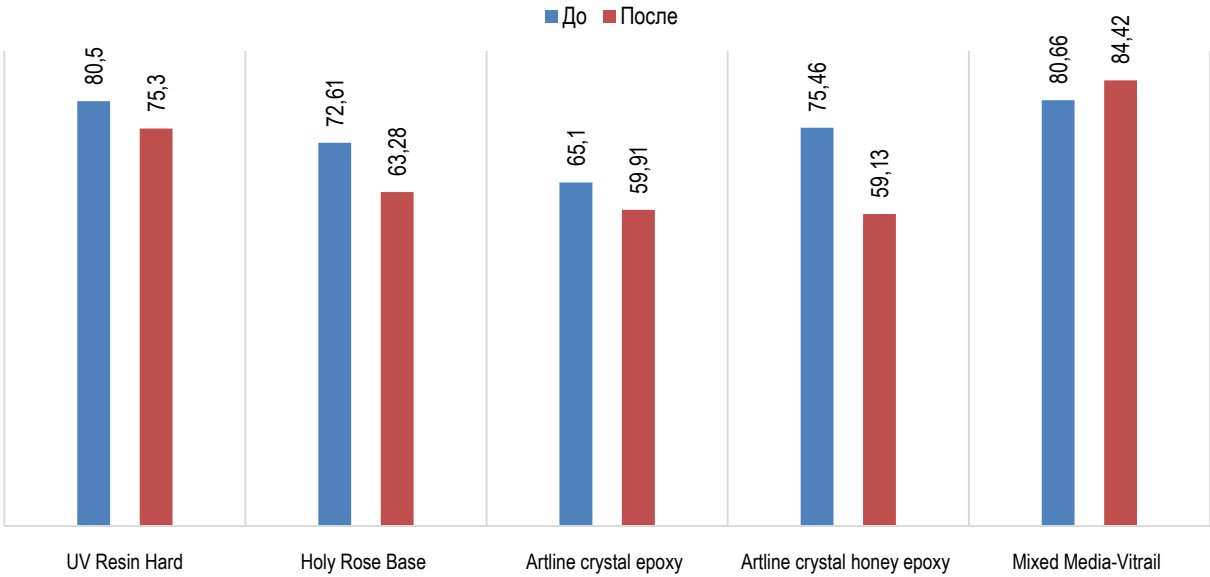
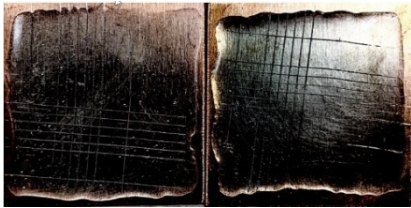
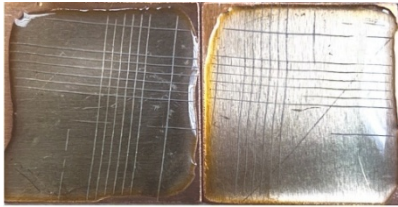
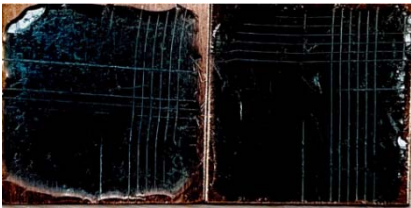
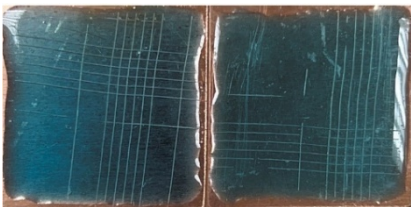
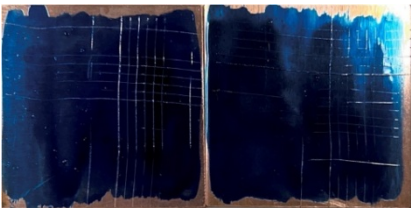


Рис. 9. Сравнение значений краевого угла смачивания составов до и после испытаний

Т а б л и ц а 2

Оценка адгезии покрытий

Состав	Образец до и после испытаний	Оценка
1. Holy Rose Base (сополимер-акрилат)		0/0
2. UV Resin Hard		0/0
3. Artline crystal epoxy		0/0
4. Artline crystal honey epoxy		0/0
5. Mixed Media-Vitrail		1/1

Оценка показала, что все составы имеют высокий показатель адгезии с поверхностью и не отслаиваются от поверхности основы при разрушении, что связано с высокой эластичностью пленок. Состав Mixed Media-Vitrail (витражные краски), изначально имеющий более низкий показатель адгезии, также имеет тенденцию к снижению адгезии и после испытаний на старение.

Результаты эксперимента. Исследование посвящено оценке устойчивости состаренных холодных эмалей на основе различных составов к внешним воздействиям. Старение проводили ускоренным методом путем УФ-облучения образцов ультрафиолетовой ртутной лампой с длиной волны 254...360 нм. Оценка результатов выполняли по характеристикам, которые наиболее важны для эксплуатационных свойств ювелирных и бижутерных изделий, в дизайне которых применяют защитно-декоративные покрытия – по адгезии с поверхностью металла и по гидрофобности.

Исследования показали, что в результате ультрафиолетового старения уменьшается угол смачивания для большинства исследованных составов холодной эмали, что может свидетельствовать об изменении физических и химических свойств поверхностных слоев покрытий. Наибольшую степень снижения гидрофобности показали покрытия на основе составов Holy

Rose Base и Artline crystal honey epoxy. Состав Mixed Media-Vitrail показал рост краевого угла смачивания. Наиболее качественные остаточные значения показали составы: UV Resin Hard и Mixed Media-Vitrail.

Выявлено, что адгезионная прочность испытываемых образцов не изменяет своих показателей после старения и остается высокой.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, составы Mixed Media-Vitrail, Artline crystal epoxy, Artline crystal honey epoxy, UV Resin Hard и Holy Rose Base (сополимер-акрилат) могут быть рекомендованы для холодного эмалирования художественных изделий из металлов, в том числе применяться в дизайне ювелирных изделий и элитной бижутерии. Наибольшей устойчивостью к УФ-излучению обладают составы: Mixed Media-Vitrail, Holy Rose Base и Artline crystal epoxy.

Для сохранения адгезионных свойств и улучшения гидрофобности покрытия можно рекомендовать Mixed Media-Vitrail.

Результаты и рекомендации, полученные в ходе исследования, могут быть применены в дизайне ювелирных, бижутерных и других художественных изделий, а также для расширения технологических возможностей указанных составов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. А. с. № 159083 А1 СССР, МПК C23C 22/78. Способ нанесения черни на изделия : № 787433/22-2 : заявл. 16.07.1962 : опубл. 22.11.1963 / Я. М. Каневский, П. Ф. Смирнов.
2. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Дизайн и технологии в мировой истории эмальерного дела: от Средневековья до нашего времени // Технологии и качество. 2022. № 4(58). С. 32–38.
3. Лебедева Т. В., Галанин С. И. Декоративные способы горячего эмалирования // Дизайн и технологии. 2019. № 69(111). С. 6–16.
4. Галанин С. И., Рыбакова И. В. Современные российские ювелирные эмали // Дизайн и технологии. 2023. № 95(137). С. 122–128.
5. Галанин С. И., Лебедева Т. В. Защитно-декоративные покрытия в ювелирном производстве : учеб. пособие. Кострома : Костром. гос. технол. ун-т, 2014. 138 с.
6. ГОСТ 9.401–2018. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. М. : Стандартинформ, 2019. 124 с.
7. Калмыков В. В., Медведева Е. А., Конозобко Р. А. Способы оценки краевого угла методом лежащей капли // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2020. № 1(28). С. 51–56. URL: <https://nto-journal.ru/catalog/mashinostroenie/754> (дата обращения: 01.08.2025).
8. Киселев М. Г., Савич В. В., Павич Т. П. Определение краевого угла смачивания на плоских поверхностях // Наука и техника. 2006. № 1. С. 38–41.
9. ГОСТ 31149–2014 (ISO 2409:2013). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза. М. : Стандартинформ, 2014. 17 с.

REFERENCES

1. Kanevskij Ya. M., Smirnov P. F. The method of applying black burnt mastic to the product. Copyright certificate No. 159083 A1 of the USSR, IPC C23C 22/78.: No. 787433/22-2.
2. Rybakova I. V., Galanin S. I. Design and technology in the world history of enamel making: from the middle ages to the present. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2022;4(58):32–38. (In Russ.)
3. Lebedeva T. V., Galanin S. I. Decorative methods of hot enameling. *Dizayn i tekhnologii* [Design and technologies]. 2019;69(111):6–16. (In Russ.)
4. Rybakova I. V., Galanin S. I. Modern Russian jewelry enamels. *Dizayn i tekhnologii* [Design and Technology]. 2023;95(137):123–128. (In Russ.)
5. Galanin S. I., Lebedeva T. V. Protective and decorative coverings in jewelry production. Kostroma, Kostroma St. Technol. Univ., 2014. 138 p. (In Russ.)
6. GOST 9.401–2018. *Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Pokrytiya lakokrasochnye. Obshchie trebovaniya i metody uskorennyh ispytaniy na stojkost' k vozdeystviyu klimaticheskikh faktorov* [State Standard 9.401–2018. Unified system of protection against corrosion and aging. Paint and varnish coatings. General requirements and methods of accelerated tests for resistance to climatic factors]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 124 s. (In Russ.)
7. Kalmykov V. V., Medvedeva E. A., Konozobko R. A. Methods for assessing the contact angle by the method of lying drop. *Elektronny journal: nauka, tekhnika i obrazovanie* [Science, technology and education]. 2020;1(28):51–56. URL: <https://nto-journal.ru/catalog/mashinostroenie/754> (accessed: 01.08.2025).
8. Kiselev M. G., Savich V. V., Pavich T. P. Determination of contact wetting angle on flat surfaces. *Nauka i tekhnika* [Science and technology]. 2006;1:38–41. (In Russ.)
9. GOST 31149–2014 (ISO 2409:2013) *Materialy lakokrasochnye. Opredelenie adgezii metodom reshetchatogo nadreza* [State Standard 31149–2014 (ISO 2409:2013). Paint and varnish materials. Determination of adhesion by the lattice incision method]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 17 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 24.08.2025

Принята к публикации 07.11.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. И. Фигуровская, магистрант

Е. М. Фигуровский, магистрант

И. Ю. Мамедова, кандидат технических наук, доцент

А. Э. Дрюкова, кандидат технических наук, доцент

О. А. Зябнева, кандидат технических наук, доцент