

Научная статья

УДК 671.1: 391.4: 739.2: 673.4: 678.5-1; 715.03

EDN MDJSAM

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-53-58>

Татьяна Игоревна Жирова¹

Сергей Ильич Галанин²

^{1,2}Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия

¹ pariisk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3532-9362>

² sgalanin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5425-348X>

СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫЕ ГАЛЬВАНОПЛАСТИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЛЛИЯ В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования технологии гальванопластики для изготовления крупногабаритной эксклюзивной дизайнерской фурнитуры для одежды, галантереи и обуви. Использование для электрохимического формирования слоя металла широко распространенного сернокислого электролита меднения удешевляет процесс, а последующее декорирование поверхности возможно с использованием конверсионных, металлических гальванических покрытий, горячих и холодных эмалей, нанокерамики. Экспериментально доказана возможность использования легкоплавкого галлия для изготовления сложногопрофильных токопроводящих моделей для гальванопластики при дальнейшем позитивном и негативном наращивании металла. Рассмотрены особенности технологического процесса позитивного и негативного наращивания слоя меди. Показано, что использование жидкого галлия имеет ряд особенностей, связанных с достаточно высокой вязкостью и плотностью, значительным поверхностным натяжением, плохим смачиванием поверхности формы, возрастанием реакционной способности с воздухом и водой при росте температуры.

Ключевые слова: эксклюзивная дизайнерская фурнитура для одежды, галантереи и обуви, гальванопластика, галлий, сложногопрофильные модели, позитивное наращивание металла, негативное наращивание металла, сернокислый электролит меднения

Для цитирования. Жирова Т. И., Галанин С. И. Сложногопрофильные гальванопластические изделия при использовании галлия в качестве модельного материала // Технологии и качество. 2025. № 1(67). С. 53–58. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-53-58>.

Original article

Tatyana I. Zhirova¹

Sergey I. Galanin²

^{1,2} Kostroma State University, Kostroma, Russia

COMPLEX PROFILE ELECTROPLATING PRODUCTS USING GALLIUM AS A MODEL MATERIAL

Abstract. The article deals with the possibility of using galvanoplastic technology for manufacturing large-size exclusive designer accessories for clothing, haberdashery and footwear. The use for electrochemical formation of the metal layer of the widespread sulfuric acid electrolyte of copper plating reduces the cost of the process, and the subsequent deco-rating of the surface is possible with the use of conversion, metal galvanic coatings, hot and cold enamels, nanoceramics. The possibility of using fusible gallium for the fabrication of complex-profile conductive models for electroplating at further positive and negative metal buildup is experimentally proved. The features of the technological process of positive and negative build-up of copper layer are considered. It is shown that the use of liquid gallium has a number of peculiarities connected with rather high viscosity and density, significant surface tension, poor wetting of the mold surface, increasing reactivity with air and water at temperature growth.

Keywords: *exclusive designer accessories for clothes, jewellery and footwear, galvanoplasty, gallium, complex profile models, positive metal build-up, negative metal build-up, sulphuric-acid copper electrolyte*

For citation: Zhironova T. I., Galanin S. I. Complex profile electroplating products using gallium as a model material. *Technologies & Quality*. 2025. No 1(67). P. 53–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-53-58>.

Введение. Гальванопластика в настоящее время претерпевает ренессанс при изготовлении ювелирных изделий и бижутерии, крупногабаритной эксклюзивной фурнитуры одежды, обуви и галантереи. Это объясняется особенностями дизайна изделий, выполненных с применением этой технологии, главными из которых является незначительный вес при существенных габаритах и широкие возможности последующего декорирования поверхности с использованием конверсионных, металлических гальванических покрытий, горячих и холодных эмалей, нанокерамики [1–8].

В качестве модельных могут применяться материалы широкой номенклатуры, как токопроводящие, так и токонепроводящие и диэлектрики. В последнее время возник интерес к использованию токопроводящих пластиков, позволяющих использовать 3D-технологии при проектировании и изготовлении из них моделей [9, 10]. Применение таких материалов имеет свои несомненные преимущества, но их объемное сопротивление достаточно велико, чтобы полностью удовлетворить производителя изделий. Поэтому весьма перспективно применение в качестве материала для изготовления моделей низкоплавких металлов и сплавов, например галлия [11].

В работе [11] была экспериментально доказана возможность использования галлия, разработаны технологические рекомендации по его применению при изготовлении гальванопластических моделей. В настоящей работе исследованы особенности использования галлия при изготовлении сложнопрофильных моделей.

Описание эксперимента и обсуждение результатов. Гальваническое осаждение проводилось из сернокислого электролита меднения, как наиболее изученного и распространенного [11, 12]. Состав электролита: $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ – 200...250 г, H_2SO_4 (пл. 1,84 г/см³) концентрированная – 50...70 г, вода дистиллированная – 1 л. Все химические реактивы марки «Ч».

В качестве формы использовался силиконовый молд с ажурным вензелем, большим количеством мелких деталей и глубоким рельефом размером 48×17×5 мм (рис. 1, б). При изготовлении модели, предназначенной для исследования процесса позитивного наращивания меди, в форму (рис. 1, а) заливался расплавленный галлий. При изготовлении формы для модели, предназначенной для исследования процесса негативного наращивания меди, образец из эпоксидной смолы (см. рис. 1, а), созданный с помощью силиконового молда, погружался в галлий (см. рис. 1, в, г).



Рис. 1. Форма для заливки из силикона (а); образец в виде сложнопрофильного вензеля из эпоксидной смолы (б); форма для заливки галлия (в); модель из галлия, предназначенная для негативного наращивания меди (г)

Особенности позитивного и негативного наращивания металла на гальванопластические модели подробно рассматривались ранее [2, 3, 11]. При изготовлении форм необходимо учитывать следующие особенности.

1. Жидкий галлий обладает достаточно высокой вязкостью, значительным поверхно-

стным натяжением, плохо смачивает поверхность формы, его вязкость при 98 °С равна 1,612 мПа·с. При проведении экспериментов температура расплавленного галлия была ниже (около 40...50 °С), соответственно его вязкость больше. Для сравнения, минимальное значение динамической вязкости пчелиного воска

в 16,37 мПа·с достигается при температуре 85 °С. Следовательно, могут возникать трудности при заполнении расплавленным галлием всех элементов сложнопрофильной формы. Кроме того, при заливке жидкого галлия в форму в металле могут образовываться пузырьки воздуха. Для нивелирования этих нежелательных эффектов необходимо создавать избыточное давление. После затвердевания металла лишние подтеки легко удаляются с помощью кусачек и пинцета.

2. При заливке формы для негативного наращивания из-за высокого коэффициента поверхностного натяжения и высокой плотности жидкого галлия легкий образец из пластика в виде вензеля выталкивается на поверхность. Поэтому его следует удерживать в необходимом положении до застывания расплавленного металла.

Галлий растапливался горячим воздухом и заливался в формы, в которых предусматри-

вался токоподвод для будущих моделей. Изготовленные модели представлены на рисунке 2.

В эксперименте использовался лабораторный регулируемый источник питания постоянного тока Vaxun DC Power Supply PS-305D. Осаждение металла проводилось в цилиндрической стеклянной ванне с использованием цилиндрического растворимого анода из меди. Перемешивание электролита в процессе электролиза осуществлялось с помощью магнитной мешалки STIRRERtype: OP-912/3. Образцы заведывались в ванне с помощью штатива (рис. 3).

Перед электролизом поверхность моделей обезжиривалась окунанием в ацетон. Участки поверхности моделей, на которые не требовалось осаждения меди, изолировались с помощью лака с нитроцеллюлозой, наносимого тонкой кистью. До и после электролиза модели взвешивались на лабораторных весах с точностью $\pm 0,01$ г.

*а**б*

Рис. 2. Модели из галлия, предназначенные для негативного (а) и позитивного (б) наращивания меди

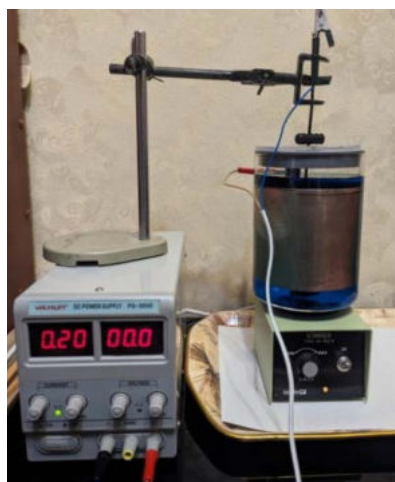


Рис. 3. Экспериментальная установка

При электроосаждении температура электролита поддерживалась (24 ± 1) °С. Продолжительность осаждения на обеих моделях 48 ч.

Плотность тока составляла на протяжении всего процесса 1 А/дм².

После окончания электрохимического процесса, сушки и взвешивания моделей защитный лаковый слой удалялся при помощи ацетона.

Внешний вид моделей представлен на рисунке 4. Масса осажденной меди на моделях и количество пропущенного электричества представлены в таблице 1.

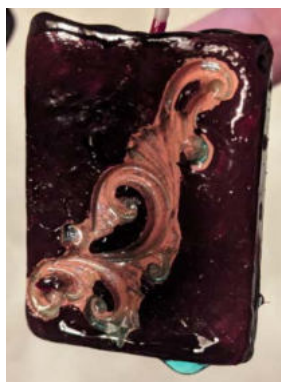
Далее галлий удалялся при помощи горячего воздуха. Незначительная пленка галлия, остающаяся на поверхности моделей, удаляется с помощью ненасыщенного раствора NaOH. Остатки галлия собираются в небольшие капли, которые легко утилизируются для повторного использования.

Внешний вид гальванопластически сформированных и не обработанных механическим способом образцов представлен на рисунке 5.

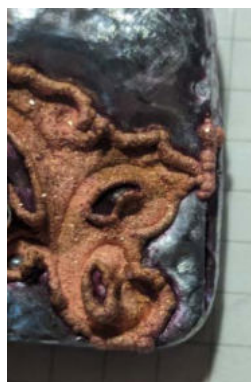
Т а б л и ц а 1

Масса осажденной меди на моделях и количество пропущенного электричества

Способ наращивания металла на модели	Масса осажденной меди, г	Прошедший заряд, Кл
Негативный	$6,31 \pm 0,02$	$19\,008 \pm 95$
Позитивный	$6,23 \pm 0,02$	$18\,942 \pm 95$



а



б



в

Рис. 4. Внешний вид моделей:

а – для негативного наращивания после 30 мин электролиза с защитным лаковым слоем (снизу видна капля электролита); б – для негативного наращивания после окончания процесса и удаления защитного лакового слоя; в – для позитивного наращивания после окончания процесса и удаления защитного лакового слоя



а

б

Рис. 5. Гальванопластически сформированные из меди и не обработанные механическим способом образцы:

а – негативное наращивание;
б – позитивное наращивание

Из рисунка 5 видно, что качество поверхности образца, выращенного негативным способом, принципиально лучше, чем у образца, полученного позитивным наращиванием: низкая шероховатость поверхности, сохранение размеров и пропорции оригинала. Качество поверхности здесь в основном обеспечивается тщательностью подготовки поверхности модели. Низкое качество второго образца связано с тем, что в сернокислом электролите меднения при толщинах осаждаемого металла более 10 мкм наблюдается прогрессивный рост размера зерен осаждаемого металла с ростом толщины осадка. Этот результат достаточно тривиален и описан в большом количестве научной литературы [12–14]. Поэтому без усложнения состава электролита введением блескообразующих и выравнивающих добавок или применения импульсного или реверсивного режима электролиза проблему роста размера зерен решить невозможно [14–19]. Следовательно, при использовании простейшего сернокислого электролита меднения негативное получение изделий предпочтительнее.

ВЫВОДЫ

1. Результаты экспериментальных исследований показали перспективные возможности использования галлия в качестве модельного материала при изготовлении сложнопрофильных гальванопластических изделий.

2. Использование галлия имеет ряд нюансов и особенностей, связанных с достаточно высокой вязкостью и плотностью, значительным поверхностным натяжением, плохим смачиванием поверхности формы, возрастанием реакционной способности с воздухом и водой при росте температуры жидкого металла.

3. При позитивном наращивании толщина металла не должна превышать величину 100 мкм (0,1 мм). В этом случае размер зерен осаждаемого металла визуально не будет замечен. Кроме того, во избежание образования питтингов (сыпи) на поверхности из-за обильного катодного образования пузырьков водорода необходимо интенсивное перемешивание электролита. Сильный разогрев электролита (более 25 °C) приводит к укрупнению размера зерен осаждаемой меди из-за снижения величины катодной поляризации.

4. Негативное наращивание меди предпочтительнее – в этом случае упрощается контроль параметров электролиза, так как требования к качеству металлических осадков ниже. И сами осадки можно формировать значительно больших толщин.

5. При гальванопластическом осаждении меди на модель из токопроводящего галлия ток проходит по всему объему модели. Это приводит к ускорению образования покрытия на всей поверхности модели, к практически отсутствию операции так называемой затяжки, которую необходимо проводить на пониженных плотно-

стях тока во избежание «подгорания» мест соединения токоподвода с токопроводящим поверхностным слоем в случае токонепроводящей модели [2, 11], к ускорению процесса формирования покрытия. Это также упрощает последующую механическую обработку изделия после окончания процесса осаждения металла.

6. После окончания электрохимического процесса изоляционный лакокрасочный слой легко удаляется растворителем.

7. Преимущество использования легкоплавкого галлия заключается в простом удалении его из сформированного изделия выплавлением горячим воздухом. В дальнейшем возможно его вторичное использование. Небольшая пленка галлия, остающаяся на поверхности металла, легко убирается с помощью ненасыщенного раствора NaOH. Остатки галлия собираются в небольшие капли, которые утилизируются. Потери металла при этом незначительны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жирова Т. И., Галанин С. И., Иванова О. В. Гальванопластические аксессуары для одежды, сумок и обуви // Технологии и качество. 2024. № 1(63). С. 77–81.
2. Галанин С. И., Жирова Т. И. Особенности дизайна, конструкции и технологии изготовления гальванопластических ювелирных изделий // Технологии и качество. 2021. № 4(54). С. 47–53.
3. Галанин С. И., Колупаев К. Н. Особенности создания современных ювелирно-художественных изделий : монография. Кострома : Костром. гос. ун-т, 2023. 172 с. 1 CD-ROM.
4. Галанин С. И., Рыбакова И. В. Современные российские ювелирные эмали // Дизайн и технологии. 2023. № 95(137). С. 122–128.
5. Галанин С. И., Сакина Ю. Е. Формирование локальных декоративных золотых и родиевых покрытий стилогальваникой // Технологии и качество. 2023. № 4(62). С. 36–42.
6. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Нашивные украшения с эмалью в историческом костюме и их место в современных трендах // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 208–214.
7. Лебедева Т. В., Галанин С. И. Декоративные способы горячего эмалирования // Дизайн и технологии. 2019. № 69(111). С. 6–16.
8. Галанин С. И. Декорирование поверхности ювелирных изделий // Труды Академии технической эстетики и дизайна. 2018. № 2. С. 5–6.
9. Галанин С. И., Жирова Т. И. Гальванопластические покрытия на сложнопрофилированных моделях из токопроводящего и токонепроводящего пластика // Электронная обработка материалов. 2020. Т. 56, № 3. С. 9–16.
10. Galanin S. I., Zhironova T. I. Electroplating Coatings on Complex Profiled Models Made of Conductive and Current-Conducting Plastic // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2021. Vol. 57, No. 1, P. 51–58.
11. Жирова Т. И., Галанин С. И. Использование галлия в качестве модельного материала в гальванопластике // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 60–64.
12. Галанин С. И., Груздева Л. А. Особенности гальванопластического формирования осадков из сернокислых электролитов меднения // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Кострома, 4 апреля 2019 г.) / Костромской государственный университет. Кострома : Изд-во Костром. гос. ун-та, 2019. С. 94–97.
13. Ямпольский А. М. Меднение и никелирование / под ред. М. П. Вячеславова. Изд. 4-е, доп. и перераб. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1977. 112 с. (Библиотечка гальванотехника. Вып. 3).
14. Галанин С. И. Электрохимическая обработка металлов и сплавов микросекундными импульсами тока : монография. Кострома : Костром. гос. технол. ун-т, 2001. 118 с.
15. Галанин С. И. Теория и практика анодной электрохимической обработки короткими импульсами тока : дис. ... д-ра техн. наук. Кострома, 2001. 277 с.
16. Галанин С. И., Шорохов С. А. Декоративная электрохимическая обработка поверхности металлов и сплавов : монография. Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2015. 151 с.
17. Курило И. И., Черник А. А., Жарский И. М. Применение импульсного электролиза для электрохимического меднения печатных плат // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. (Гродно, 20–21 октября 2011 г.). Гродно, 2011. С. 86–87.
18. Кудряшов В. А., Темников С. Р., Бажанова А. И. Влияние добавок и реверсивного тока на распределение осадков металла при электрохимическом меднении // Наука без границ. 2018. № 4(21). С. 107–111.

19. Хмелёв А. В., Федорова Е. А., Головушкина Л. В. Зависимость структуры и физико-механических свойств медных покрытий от токовых режимов электролиза // Гальванотехника и обработка поверхности. 2011. Т. 7, № 8. С. 33–37.

REFERENCES

1. Zhirova T. I., Galanin S. I., Ivanova O. V. Galvanoplastic accessories for clothing, bags and shoes. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2024;1(63):77–81. (In Russ.)
2. Galanin S. I., Zhirova T. I. Features of design, construction and technology of manufacturing galvanoplastic jewellery. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2021;4(54):47–53. (In Russ.)
3. Galanin S. I., Kolupaev K. N. Features of the creation of modern jewelry and art products. Kostroma, Kostroma St. Univ Publ., 2023. 1 CD-ROM (In Russ.)
4. Rybakova I. V., Galanin S. I. Modern Russian jewelry enamels. *Dizajn i tekhnologii* [Design and Technology]. 2023;95(137):123–128. (In Russ.)
5. Galanin S. I., Sakina Yu. E. Formation of local decorative gold and rhodium coatings by stylogalvanisation. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;4(62):36–42. (In Russ.)
6. Rybakova I. V., Galanin S. I. Sewn jewelry with enamel in a historical costume and their place in modern trends. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2022;6(402):208–214. (In Russ.)
7. Lebedeva T. V., Galanin S. I. Decorative methods of hot enameling. *Dizajn i tekhnologii* [Design and Technology]. 2019;69(111):6–16. (In Russ.)
8. Galanin S. I. Decoration of jewelry surface. *Trudy Akademii tekhnicheskoy estetiki i dizajna* [Proceedings of the Academy of technical aesthetics and design]. 2018;2:5–6. (In Russ.)
9. Galanin S. I., Zirova T. I. Electroplated coatings on complex-shaped models made of conductive and non-conductive plastic. *Elektronnaya obrabotka materialov* [Electronic Processing of Materials]. 2020;56.3:9–16. (In Russ.)
10. Galanin S. I., Zhirova T. I. Electroplating Coatings on Complex Profiled Models Made of Conductive and Current-Conducting Plastic. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2021;57,1:51–58.
11. Zhirova T. I., Galanin S. I. Use of gallium as model material in galvanoplasty. *Dizajn i tekhnologii* [Design and Technology]. 2024;4(66):60–64. (In Russ.)
12. Galanin S. I., Gruzdeva L. A. Features of galvanoplastic formation of precipitation from sulfuric acid copper electrolytes. Research and development in the field of design and technology : proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (Kostroma, April 4, 2019). Kostroma, Kostroma St. Univ. Publ., 2019. P. 94–97. (In Russ.)
13. Yampolsky A. M., Vyacheslavov M. P., ed. Copper plating and nickel plating. Edition 4, supplemented and revised. Leningrad, Mashinostroenie, Leningrad Department Publ., 1977. 112 p. Series “Biblioteka galvanotekhnika”, is. 3. (In Russ.)
14. Galanin S. I. Electrochemical processing of metals and alloys by microsecond current pulses. Kostroma, Kostroma St. Technol. Univ. Publ., 2001. 118 p. (In Russ.)
15. Galanin S. I. Theory and practice of anodic electrochemical treatment by short current pulses. Doct. techn. sci. dis. Kostroma, 2001. 277 p. (In Russ.)
16. Galanin S. I., Shorokhov S. A. Decorative electrochemical surface treatment of metals and alloys. Kostroma, Kostroma St. Technol. Univ. Publ., 2015. 151 p. (In Russ.)
17. Kurilo I. I., Chernik A. A., Zharsky I. M. Application of pulse electrolysis for electrochemical copper plating of printed circuit boards. Energy- and material-saving environmentally friendly technologies : abstracts of IX International Scientific and Technical Conference. (Grodno, October 20–21, 2011). Grodno, 2011. P. 86–87. (In Russ.)
18. Kudryashov V. A., Temnikov S. R., Bazhanova A. I. Influence of additives and reversing current on the distribution of metal precipitation during electrochemical copper plating. *Nauka bez granic* [Science without Borders]. 2018;4(21):107–111. (In Russ.)
19. Khmelev A. V., Fedorova E. A., Golovushkina L. V. Dependence of the structure and physical and mechanical properties of copper coatings on the current modes of electrolysis. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti* [Galvanotechnics and surface treatment]. 2011;7(8):33–37. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 16.12.2024
Принята к публикации 17.02.2025