

Научная статья

УДК 671.1:673.4:678.5-1:745.03

EDN UOOADD

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-60-64>

Татьяна Игоревна Жирова<sup>1</sup>

Сергей Ильич Галанин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

<sup>1</sup> [pariisk@yandex.ru](mailto:pariisk@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3532-936>

<sup>2</sup> [sgalanin@mail.ru](mailto:sgalanin@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5425-348X>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЛЛИЯ В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ГАЛЬВАНОПЛАСТИКЕ

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность использования технологии гальванопластики для изготовления крупногабаритной эксклюзивной дизайнерской фурнитуры для одежды, галантереи и обуви. Показан высокий технологический потенциал использования низкоплавких токопроводящих материалов, в частности галлия, для изготовления гальванопластических моделей. Экспериментально исследованы особенности создания моделей из галлия, формирования гальванопластических осадков меди на их поверхности, технологические приемы удаления галлия после осаждения меди. Показаны технологические проблемы, возникающие при работе с галлием, даны практические рекомендации по их нивелированию. Экспериментально доказано преимущество использования токопроводящих материалов для изготовления моделей для гальванопластики, так как по сравнению с диэлектриками, требующими графитизации поверхности, процесс электролиза значительно сокращается, что существенно экономит средства и ресурсы.

**Ключевые слова:** эксклюзивная дизайнерская фурнитура для одежды, галантереи и обуви, гальванопластика, токопроводящие низкоплавкие материалы для изготовления моделей, галлий, коэффициент поверхностного натяжения, гальванопластическая модель, электролит

**Для цитирования.** Жирова Т. И., Галанин С. И. Использование галлия в качестве модельного материала в гальванопластике // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 60–64. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-60-64>.

Original article

Tatyana I. Zhirova<sup>1</sup>

Sergey I. Galanin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kostroma State University, Kostroma, Russia

## USE OF GALLIUM AS MODEL MATERIAL IN GALVANOPLASTY

**Abstract.** The article deals with the possibility of using the technology of electroplating for manufacturing large-size exclusive designer accessories for clothing, haberdashery and footwear. The high technological potential of using low-melting conductive materials, in particular, gallium, for manufacturing galvanoplastic models is shown. The features of creation of models from gallium, formation of galvanoplastic precipitation of copper on their surface, technological methods of gallium removal after copper deposition are experimentally investigated. Technological problems arising at work with gallium are shown, practical recommendations on their leveling are given. The advantage of using conductive materials for making models for electroplating is experimentally proved, as compared to dielectrics requiring graphitization of the surface, the process of electrolysis is considerably reduced, which significantly saves money and resources.

**Keywords:** exclusive designer accessories for clothes, galanterie and footwear, galvanoplasty, conductive low-melting materials for manufacturing models, gallium, surface tension coefficient, galvanoplastic model, electrol

**For citation:** Zhirova T. I., Galanin S. I. Use of gallium as model material in galvanoplasty. Technologies & Quality. 2024. No 4(66). P. 60–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-60-64>.

**Введение.** Гальванопластическое формирование является весьма перспективной альтернативой изготовления из металла крупногабаритной фурнитуры для одежды, галантереи и обуви [1]. Такая технология изготовления эксклюзивных дизайнерских изделий позволяет существенно уменьшить их вес при сохранении необходимых габаритов и свойств.

Изготовление гальванопластических изделий имеет свои особенности не только в процессе самого производства, но и дизайн-проектирования [2]. Одним из важных этапов является выбор материала для изготовления модели, на поверхность которой в дальнейшем производится наращивание слоя металла. Современные технологии позволяют производить 3D-проектирование и 3D-выращивание моделей из различных полимеров. Экспериментальные исследования показали перспективность использования токопроводящих пластиков для таких моделей [3, 4].

При изготовлении гальванопластических изделий весьма важным является выбор способа позитивного или негативного наращивания металла. Каждый способ имеет свои достоинства и недостатки. При позитивном наращивании металл наносится, как правило, на объемную модель, и качество поверхности и его шероховатость во многом определяются толщиной покрытия и размером зерен осаждающегося металла, которые зависят от состава электролита, режимов и продолжительности электролиза [2, 5]. Модель в результате остается внутри сформированного изделия. Ее либо удаляют различными способами (выжиганием, растворением, вытапливанием и т. д.), либо оставляют для укрепления изделия в процессе эксплуатации. При негативном наращивании металл наносится с обратной стороны модели. Качество поверхности и его шероховатость при этом определяются качеством поверхности модели. После формирования покрытия модель отделяется от него.

**Модельные материалы для гальванопластики.** Материал модели во многом определяет весь процесс изготовления изделия, технологию формирования токопроводящих и разделительных слоев, удаления модельного материала. Весьма интересна возможность использования для изготовления моделей легкоплавких токопроводящих материалов, что позволит легко удалять эти материалы на заключительной стадии и отказаться от необходимости формирования токопроводящих слоев графита на поверхности модели. В качестве таких материалов можно рассматривать легкоплавкие метал-

лы и сплавы, как правило, эвтектические металлические сплавы, имеющие низкую температуру плавления, не превышающую температуру плавления олова (231,9 °С). Для получения легкоплавких сплавов используются свинец, висмут, олово, кадмий, таллий, ртуть, индий, галлий и иногда цинк. Все эти металлы и сплавы имеют свои достоинства и недостатки. Одним из металлов, имеющих незначительную температуру плавления (после ртути и цезия), является галлий.

Галлий – серебристо-белый металл, покрывающийся на воздухе тонкой пленкой оксида. Плотность 5,91 г/мм<sup>3</sup> (при 20 °С), у расплавленного галлия – 6,095 г/см<sup>3</sup> (при 29,8 °С). Температура плавления 29,76 °С. Галлий очень мягок, его твердость по шкале Мооса 1,5. При комнатной температуре довольно пластичен. Не токсичен. Галлий, в отличие от ртути, хорошо смачивает стекло и многие другие материалы, за исключением полиэтилена, поэтому для его хранения и транспортировки используется полиэтиленовая посуда. При высоких температурах (выше 500 °С) жидкий галлий очень агрессивен и разъедает многие материалы сильнее, чем любой другой расплавленный металл [6].

В работе описаны экспериментальные исследования возможности использования галлия в качестве модельного материала в гальванопластике.

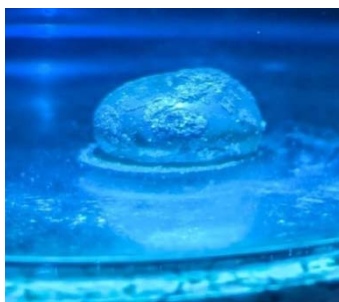
**Описание эксперимента и обсуждение результатов.** Использовался металлический галлий в виде гранул. На первом этапе исследовалось взаимодействие металлического галлия с сернокислым электролитом меднения ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 200...250 г,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрированная (плотность 1,84 г/см<sup>3</sup>) – 50...70 г, вода дистиллированная 1 л). Все химические реактивы марки «Ч». Электролит выбирался из соображений широкого применения в различных технологических процессах, существенной изученности, стабильности и доступности компонентов. Гранула галлия погружалась в электролит на 6 ч (рис. 1, а). После указанного времени на поверхности галлия наблюдался незначительный контактный осадок меди, сформированный за счет образования электрохимической пары Ga – Cu (рис. 1, б). Газовыделения на поверхности галлия не наблюдалось, следовательно, отсутствовали какие-либо видимые побочные реакции.

Далее в заранее подготовленную форму в виде параллелепипеда с токоподводом был залит расплавленный пламенем газовой горелки

галлий (рис. 2). После затвердевания образец извлекался и обезжиривался окунаем в ацетон. Из-за высокого коэффициента поверхностного натяжения жидкого галлия ( $\sigma = 0,735$  Н/м по сравнению с водой, у которой  $\sigma = 72,88 \cdot 10^{-3}$  Н/м) верхняя часть образца приобретает куполообразную форму. Это создает определенные проблемы при создании моделей: гальванопластическое осаждение меди необходимо производить

только на недеформированную часть поверхности моделей или корректировать их форму.

Для сравнения процессов осаждения меди на галлии со стандартным гальванопластическим осаждением использовался образец из полиметилметакрилата с аналогичными геометрическими характеристиками. Поверхность этого образца покрывалась токопроводящим графитовым спреем.



а



б

Рис. 1. Галлий в сернокислом электролите меди:

а – гранула галлия, погруженная в электролит; б – контактное выделение меди на поверхности галлия



а



б

Рис. 2. Залитый в форму галлий (а) и извлеченный образец (б)

Использовался лабораторный регулируемый источник питания постоянного тока Vauxon 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 завешивались в ванне с помощью штатива (рис. 3).

При электроосаждении температура электролита поддерживалась  $(24 \pm 1)$  °С. Продолжительность осаждения на обоих образцах 48 ч. Плотность тока при покрытии галлия составляла на протяжении всего процесса 1 А/дм<sup>2</sup>. При покрытии второго образца сначала производилась так называемая затяжка поверхности в течение 13 ч при плотности тока 0,02 А/дм<sup>2</sup> во избежание подгорания мест соединения с электроподводами. После покрытия образца медью полностью плотность тока была увели-

чена до 1 А/дм<sup>2</sup>. Внешний вид образцов после гальванопластического осаждения меди представлен на рис. 4. Масса осадившейся меди на образцах и количество пропущенного электричества представлены в таблице.



Рис. 3. Экспериментальная установка

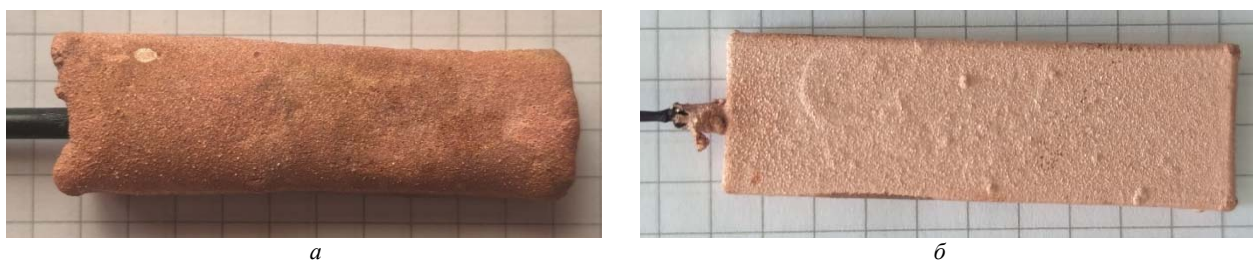


Рис. 4. Внешний вид образцов после гальванопластического осаждения меди:  
а – из галлия; б – из графитизированного полиметилметакрилата

Т а б л и ц а

Масса осадившейся меди на образцах и количество пропущенного электричества

Материал образца	Масса осажженной меди $m$ , г	Прошедший заряд $q$ , Кл	$q/m$
Галлий	$11,37 \pm 2$	$34\,560 \pm 173$	3024...3055
Графитизированный полиметилметакрилат	$5,94 \pm 2$	$18\,069 \pm 91$	3027. ...3057

Различия в количестве пропущенного электричества и в массе осажженной меди связаны с тем, что поверхность графитизированного образца «затягивалась» медью от токоподвода по всей поверхности на пониженной плотности тока в течение 13 ч. Однако равенство отношения  $q/m$  для обоих образцов свидетельствует об однозначности процессов осаждения на их поверхности, т. е. при одинаковом количестве пропущенного электричества массы осажженной меди были бы равны.

После осаждения меди галлий извлекался путем расплавления при погружении образца в горячую воду  $\pm 90$  °С. Галлий легко извлекался из образца и собирался на дне емкости (рис. 5).



Рис. 5. Извлечение галлия в горячей воде

Но из-за высокой температуры на поверхности расплавленного металла образовывалась

оксидная пленка. В связи с этим данный способ извлечения галлия в производственных условиях использовать не рекомендуется.

## ВЫВОДЫ

Результаты эксперимента показали:

1) высокий технологический потенциал использования низкоплавких токопроводящих материалов, в частности галлия, в качестве материала для изготовления моделей для гальванопластики;

2) преимущество использования токопроводящих материалов для изготовления моделей, так как по сравнению с диэлектриками, требующими графитизации поверхности, процесс электролиза значительно сокращается, что значительно экономит средства и ресурсы;

3) нагрев галлия необходимо проводить постепенно, так как при увеличении температуры возрастает его реакционная способность с образованием оксидной пленки; рекомендуется помещать галлий в пластиковый контейнер, который нагревается на водяной бане или с помощью теплого воздуха;

4) из-за высокого коэффициента поверхностного натяжения жидкого галлия при заливке металла в форму верхняя часть образца становится куполообразной, что требует корректировки модели или проведения осаждения металла только на недеформированную поверхность.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 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.
- Галанин С. И., Жирова Т. И. Особенности дизайна, конструкции и технологии изготовления гальванопластических ювелирных изделий // Технологии и качество. 2021. № 4(54). С. 47–53.
- 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.

4. 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, Vol. 57, No. 1, pp. 51–58.
5. Галанин С. И., Колупаев К. Н. Особенности создания современных ювелирно-художественных изделий : монография. Кострома : Костром. гос. ун-т, 2023. 172 с. 1 CD-ROM.
6. Галлий // School-collection – образовательные ресурсы : веб-портал. URL: <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/1738739e-63fe-9b2f-7939-c4e88243614f/1011821A.htm> (дата обращения: 01.07.2024).

## 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., Zhirova 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.)
4. 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.
5. Galanin S. I., Kolupaev K. N. Features of the creation of modern jewelry and art products. Kostroma, Kostroma St. Univ Publ., 2023. 172 p. (In Russ.)
6. Gallium. School-collection – Educational resources. URL: <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/1738739e-63fe-9b2f-7939-c4e88243614f/1011821A.htm> (accessed 01.07.2024).

Статья поступила в редакцию 6.09.2024  
Принята к публикации 30.10.2024