

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РЕСТАВРАЦИИ» (ФГБНИУ «ГОСНИИР»)

Художественное наследие.
Исследования. Реставрация. Хранение.
Art Heritage. Research. Storage. Conservation.

Международное сетевое рецензируемое научное издание

№2 (18) 2026

МОСКВА 2026

THE MINISTRY OF CULTURE OF THE RUSSIAN FEDERATION

THE STATE RESEARCH INSTITUTE FOR RESTORATION

Художественное наследие.
Исследования. Реставрация. Хранение.
Art Heritage. Research. Storage. Conservation.

An international peer-reviewed online scientific journal

№2 (18) 2026

MOSCOW 2026

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Д. Б. Антонов

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

А. С. Макарова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**А. Н. Балаш, В. В. Баранов, С. И. Баранова, Г. И. Вздорнов, В. Г. Гагарин,
М. Ф. Дубровин, В. В. Игошев, С. С. Ипполитов, С. А. Кочкин, А. В. Кыласов,
Л. И. Лифшиц, Т. К. Мкртычев, А. В. Окороков, С. А. Писарева, И. Н. Проворова,
И. Г. Равич, Н. Л. Ребрикова, Н. В. Синявина, С. В. Филатов, Н. Е. Шафажинская,
О. В. Яхонт.**

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:

О. Г. Кирьянова

РЕДАКТОР:

Г. И. Герасимова

Выходит 4 раза в год

Адрес редакции:

107014, г. Москва, ул. Гастелло, д. 44 стр. 1

e-mail: journal@gosniir.ru

Сайт: <http://www.journal-gosniir.ru/>

Свидетельство о регистрации СМИ ЭЛ. № ФС77-82901 ОТ 14.03.2022

ISSN 2782-5027

EDITOR-IN-CHIEF:

Dmitriy B. Antonov

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Anastasia S. Makarova

EDITORIAL BOARD:

**A.N. Balash, V.V. Baranov, S.I. Baranova, G.I. Vzdornov, V.G. Gagarin, M.F. Dubrovin,
V.V. Igoshev, S.S. Ippolitov, S.A. Kochkin, A.V. Kylasov, L.I. Lifshic, T.K. Mkrttychev,
A.V. Okorokov, S.A. Pisareva, I.N. Provorova, I.G. Ravich, N.L. Rebrikova, N.V. Sinyavina,
S.V. Filatov, N.E. Shafazhinskaya, O.V. Yahont.**

EXECUTIVE SECRETARY:

O.G. Kiryanova

EDITOR:

G.I. Gerasimova

Quarterly journal

Address:

44-1, Gastello St., Moscow, Russia, 107014

e-mail: journal@gosniir.ru

Web-site: <http://www.journal-gosniir.ru/>

Mass media registration certificate EL. N° FS77-82901 from 14.03.2022

ISSN 2782-5027

СОДЕРЖАНИЕ

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-7-26

Беккер А. О., Дубровин М. Ф.

Уточнения и дополнения к информации

о времени работы московских пробирных мастеров XIX века

7

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-27-36

Добровольский С. В., Глуховская Ю. И.

Возможности использования газодинамических способов

формирования материала для реставрации изделий из металла

27

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-37-58

Котельников П. Н., Кураков С. В., Макарова А. С., Самойлов В. Б.

Реставрация памятников из металла методом

холодного газодинамического напыления:

критерии применения и оценка результатов

37

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-59-65

Парфенов В. А.

Лазерная порошковая наплавка:

новое в реставрации памятников из металла

59

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-66-73

Плахов В. В., Каракуркчи Р. С., Хасиева Е. А.

Цвет, рожденный током: анодирование титана

как искусство и технология

66

CONTENTS

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-7-26

Bekker A. O., Dubrovin M. F.

Clarifications and additions to the information about the working periods of Moscow assay masters of the 19th century

7

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-27-36

Dobrovolsky S. V., Glukhovskaya Yu. I.

Possibilities of using gas-dynamic methods of material formation for the restoration of metal objects

27

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-37-58

Kotelnikov P. N., Kurakov S. V., Makarova A. S., Samoilov V. B.

Restoration of metal monuments using the cold gas-dynamic spraying method: application criteria and results assessment

37

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-59-65

Parfenov V. A.

Direct metal laser sintering: new in the restoration of metal monuments

59

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-66-73

Plakhov V. V., Karakurkchi R. S., Khasieva E. A.

Color born of amperage: anodizing titanium as art and technology

66

В. В. Плахов, Р. С. Каракуркчи, Е. А. Хасиева

ЦВЕТ, РОЖДЕННЫЙ ТОКОМ: АНОДИРОВАНИЕ ТИТАНА КАК ИСКУССТВО И ТЕХНОЛОГИЯ

Статья посвящена технологии анодирования титана — методу, который превращает этот суперсовременный конструкционный материал в палитру для художника. Особое внимание уделяется физико-химическим основам интерференционного окрашивания, возникающего благодаря наращиванию слоя диоксида титана различной толщины, что достигается путем регулирования напряжения. Исследуются практические аспекты применения, включая ограниченность цветовой палитры (невозможность получения черного, красного и темно-оранжевого цветов), сложности с равномерностью окраски на рельефных поверхностях и влияние различных сплавов титана на конечный оттенок. Технология анодирования титана, будучи тонким процессом, открывает двери для создания не просто функциональных, но и визуально привлекательных изделий. Интерференционная окраска, не подверженная механическому истиранию и выцветанию под воздействием ультрафиолета, обладает завидной долговечностью, что делает ее идеальным выбором для изделий, требующих как прочности, так и эстетической новизны. Важнейшими выводами являются следующие: анодирование титана позволяет создавать уникальные, долговечные цветовые эффекты, но требует точного контроля процесса и мастерства для достижения художественных целей; технология успешно синтезируется с традиционными техниками обработки металла, расширяя возможности современного художника по металлу. Подчеркивается, что анодирование титана утвердилось как материал XXI века для инженеров и художников, благодаря прочности, долговечности и эстетической привлекательности.

Ключевые слова: анодирование титана, интерференционная окраска, оксидная пленка, электрохимическое окисление, тимаскус, обронная, резцовая гравировка, инкрустация, международная ювелирная школа, нож «Готика».

V. V. Plakhov, R. S. Karakurkchi, E. A. Khasieva

COLOR BORN OF AMPERAGE: ANODIZING TITANIUM AS ART AND TECHNOLOGY

The article is devoted to the technology of anodizing titanium — a method that turns this super-modern structural material into a palette for an artist. Special attention is paid to the physical and chemical basis of interference coloring, which occurs due to the growth of a layer of titanium dioxide of different thickness, which is achieved by regulating the voltage. The practical aspects of the application are being investigated, including the limited color palette (the inability to obtain black, red, and dark orange colors), difficulties with uniform coloring on embossed surfaces, and the impact of different titanium alloys on the final color. Titanium anodization technology, being a delicate process, opens the door to creating not only functional but also visually appealing products. Interference coloring, which is resistant to mechanical abrasion and UV fading, offers exceptional durability, making it an ideal choice for products that require both durability and aesthetic novelty. The most important conclusions are as follows: anodizing titanium allows the creation of unique, long-lasting color effects, but requires precise process control and skill to achieve artistic goals. The technology is successfully synthesized with traditional metalworking techniques, expanding the possibilities of the modern metal artist. It is concluded that titanium anodization has established itself as a 21st-century material for engineers and artists, due to its strength, durability, and aesthetic appeal.

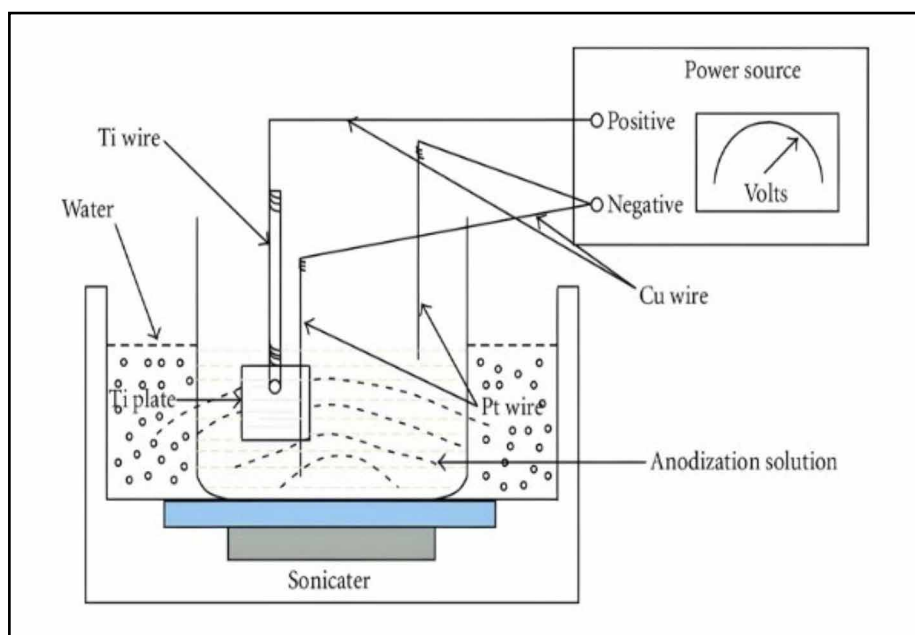
Keywords: titanium anodization, interference coloring, oxide film, electrochemical oxidation, timascus, obron, incision engraving, inlay, international jewellery school, knife «Gothic».

Введение: металл, бросивший вызов художнику

Титан давно перестал быть достоянием лишь аэрокосмической отрасли и медицины. Его легендарная прочность, легкость и почти абсолютная коррозионная стойкость, обусловленная тончайшей природной оксидной пленкой, привлекли и создателей предметов искусства. Однако эта же инертность стала вызовом: как приручить металл, не желающий взаимодействовать с миром? Как нанести на него цвет, который не сотрется? Ответ был найден не в области пигментов, а на стыке электрохимии и оптики. Технология анодирования не просто окрасила титан — она открыла новое измерение в его художественной обработке, где цвет управляется напряжением, а долговечность измеряется десятилетиями.

Глава 1. Наука цвета: от вольта к нанометру

В основе художественного анодирования титана лежит строгий физический закон. В процессе электрохимического окисления, когда изделие (анод) погружено в электролит, на его поверхности нарастает слой диоксида титана (TiO_2). Ключевое отличие от всех прочих методов окраски — цвет здесь не вводится извне, а рождается на границе сред (ил. 1).

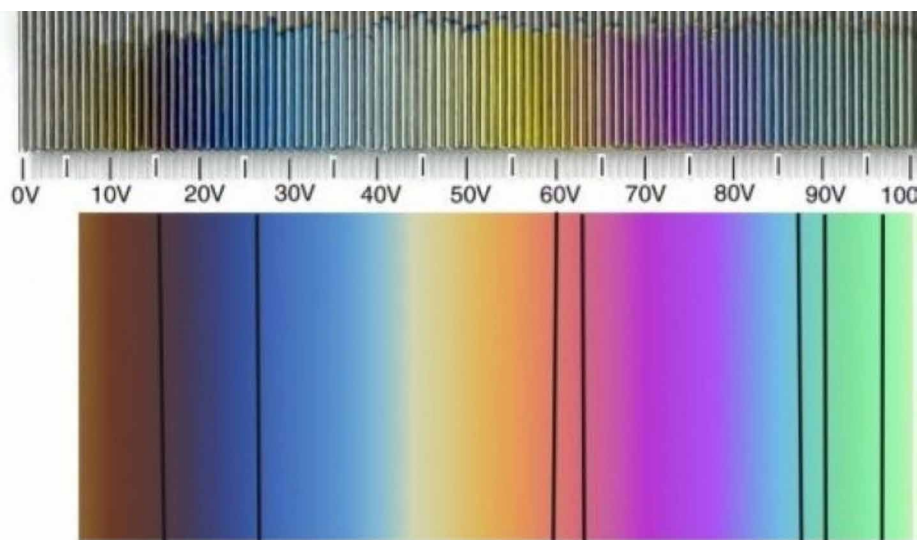


Ил. 1.

Процесс анодирования титана.
URL: <https://at-machining.com/>
(дата обращения: 24.02.2026)

Это явление — интерференция света. Падающий луч частично отражается от внешней поверхности оксидной пленки, а частично проходит сквозь нее и отражается уже от границы между пленкой и металлом. Два отраженных луча, встречаясь, усиливают или гасят друг друга в зависимости от разности своего хода. Эта разность, а значит, и итоговый видимый цвет, определяется одной величиной — толщиной оксидного слоя.

Мастер, таким образом, работает как дирижер света, меняя толщину «оптического слоя» с точностью до нанометра, регулируя напряжение источника тока (табл. 1). Низкое напряжение [2] (10–15 В) дает теплые, земляные тона — коричневый, бронзовый. Средние значения (40–60 В) открывают спектр от золотистого и фиолетового до насыщенного синего. Максимальные напряжения (80–90 В) ведут к появлению бирюзового и зеленого. Эта радужная, переливчатая палитра, напоминающая отблески нефти на воде или перламутр, принципиально недостижима с помощью красителей (ил. 2).



Ил. 2.
Таблица цветов анодированного титана в зависимости от толщины оксидного слоя. — URL: <https://www.hlc-metalparts.com/> (дата обращения: 24.02.2026)

Таблица 1. Зависимость цвета анодированного титана от толщины оксидного слоя (напряжения)

Толщина	Цвет
Примерно 100 нанометров	Темно-синий
Примерно 900–950 нанометров	Бронза
Примерно 800–850 нанометров	Зелёная
Примерно 700–750 нанометров	Темно-синий
Примерно 600–650 нанометров	Пурпурный
Примерно 500–550 нанометров	Бирюзовый
Примерно 400–450 нанометров	Светло-синий
Примерно 300–350 нанометров	Желтое золото

Ниже (табл. 2) приведены примерные показатели напряжения и цветовая схема. Точные оттенки могут варьироваться в зависимости от сплава, подготовки поверхности и освещения.

Таблица 2. Цвета оксидных пленок на основе таблицы анодирования (10–100 В с шагом 2,5 В)

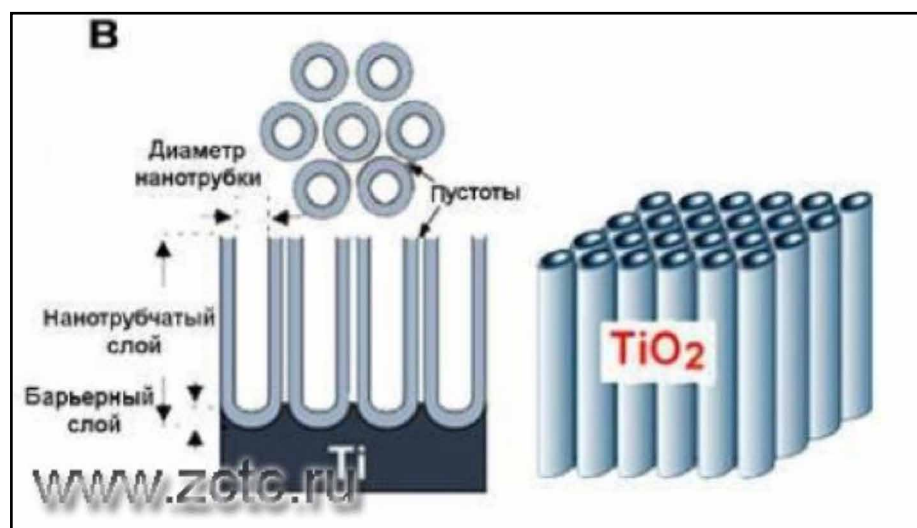
Напряжение (постоянный ток)	Типичный оттенок	Примечания
10–15 В	Бронзовый → Коричневый	Самые ранние оттенки анодирования, теплые металлические тона.
17,5–27,5 В	Темно-фиолетовый → Светло-голубой	Плавный градиент от фиолетового к более светлым синим оттенкам.
30–47,5 В	Слабо-синий → Серебристый	Переходный, более приглушенный оттенок на матовых поверхностях.
50–60 В	Жёлтый/Золотой → Розовое золото	Яркие металлические желтые оттенки, переходящие в розовые тона.
62,5 В	Розовый	Нежный, пастельно-розовый оттенок (чувствительный к углу обзора).

Напряжение (постоянный ток)	Типичный оттенок	Примечания
65–75 В	Фиолетовые тона	Более насыщенные фиолетовые оттенки вновь появляются при более высоком напряжении.
77,5–85 В	Синий и бирюзовый	Яркие, как океан, цвета, очень насыщенные.
87,5–100 В	Зеленый → Желто-зеленый	Верхний диапазон; зеленый цвет переходит в салатные тона.

Напоминание: красный цвет недостижим при анодировании титана. Физические законы интерференции тонких пленок просто этого не позволяют [1].

Глава 2. Практика мастерской Международной ювелирной школы: контроль и непредсказуемость

Технологический процесс, схематично изображенный на рисунках (ил.3; 4.1, 4.2, 4.3, 4.4), обманчиво прост: нужны источник постоянного тока, электролит и две клеммы. Однако за этой простотой скрывается мир тонких нюансов, определяющих успех.



Ил. 3.

Идеальная схема анодно-оксидного покрытия на титане. — URL: <https://zctc.ru/sections/anodirovanie-titana> (дата обращения: 24.02.2026)

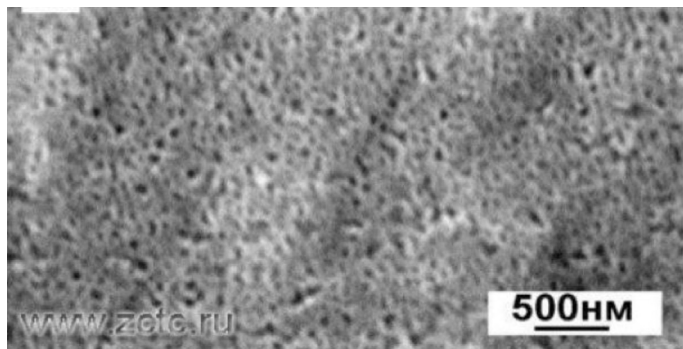
Структура покрытия. Идеальное анодное покрытие имеет упорядоченную нанопористую структуру (ил. 3). Однако ее морфология — размер и форма пор — кардинально меняется в зависимости от состава электролита [4] (серная, фосфорная кислоты с добавками фторидов, органические электролиты), температуры, времени и режима обработки. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) демонстрирует это поразительное разнообразие: от неструктурированных слоев до вертикально выстроенных нанотрубок [3] (ил.4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

Художественные вызовы. Именно здесь технология проверяется искусством. Мастер сталкивается с рядом специфических проблем:

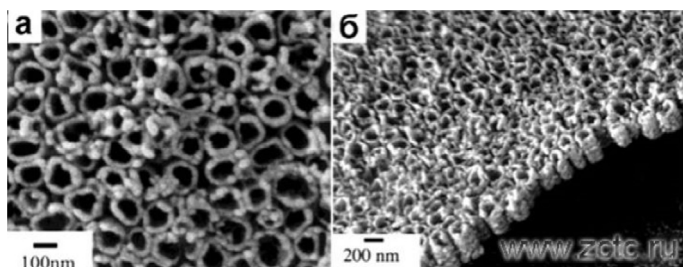
1. Ограниченность палитры: анодированием невозможно получить чистые черный, красный и темно-оранжевый цвета. Это заставляет искать гибридные решения, комбинируя анодирование с другими методами (соединение титановых сплавов для получения «тимаскус», напыление);

2. Неравномерность: на сложном рельефе, характерном для художественных изделий, плотность тока распределяется неравномерно, что приводит к разнотонности. Требуется виртуозное владение маской, положением электродов и последовательностью обработки;

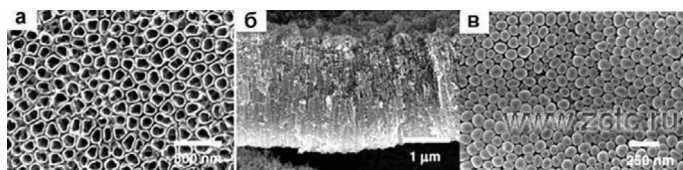
3. Влияние материала: разные марки и сплавы титана (коммерчески чистый BT1-0, сплав Grade 5/BT6) имеют разную микроструктуру и легирующие добавки, что напрямую влияет на конечный оттенок при одинаковых настройках.



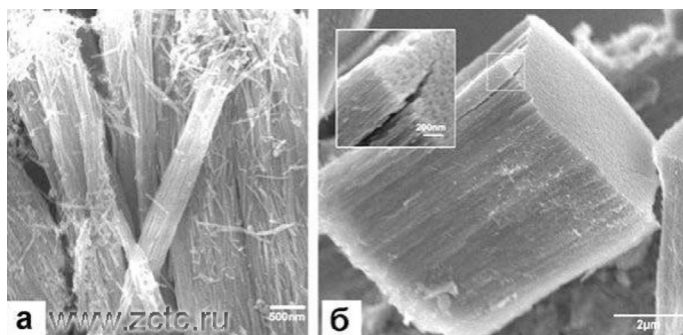
1)



2)



3)



4)

Ил. 4.

СЭМ-изображения. Разнообразие структур анодных оксидов титана, полученных в разных условиях. Автор — К. К. Фазлутдинов, НПП Электрохимия. Екатеринбург, 2022 г.

4.1. — Поверхность анодных неструктурированных анодных оксидов на титане, сформированных анодированием в 10% $\text{H}_2\text{SO}_4 + 0.15\% \text{HF}$, $U_a = 20\text{В}$, $t_a = 20$ мин.

4.2. — Поверхность трубчатого слоя (а) и поперечного сечения (б) НТАОТ, сформированных в водном растворе 0.5% HF при 20В в течение 20 мин.

4.3. — Поверхность пористого или трубчатого (а) и барьерного (в) слоев и поперечного сечения (б) НТАОТ, сформированная в водном растворе 1М $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 0.5\% \text{NH}_4$

4.4. — Поверхность и поперечное сечение НТАОТ, сформированные в хлорсодержащих электролитах: (а) 0.5М муравьиная кислота + 0.4М NH_4Cl ; (б) 0.5М глюконовая кислота + 0.4М NH_4Cl

Глава 3. Анодирование в контексте современного искусства: синтез и контраст

В арсенале современного художника по металлу анодирование титана — не замена, а мощное дополнение к традиционным техникам. Его рациональная, «цифровая» эстетика вступает в плодотворный диалог с вековыми ремеслами.

С гравировкой (обронной, резцовой) анодирование позволяет тонировать фон, оставляя металл в углублениях нетронутым, или наоборот, создавая цветовой контраст рельефа.

С инкрустацией и всечкой холодная, футуристическая радужность титана служит идеальным современным фоном для теплого сияния золота, платины и бриллиантов, подчеркивая их ценность через контраст.

С авторскими сталями цветная титановая фурнитура или рукоять создают сложный визуальный диалог с узором дамасской или булатной стали клинка.

Ярким воплощением этого синтеза служат работы художников — оружейника Владимира Плахова (нож «Готика», 2025 г.) и Романа Каракуртки (броши, 2024 г.). В ноже «Готика» анодированная рукоять из титана, играющая градиентами синего и фиолетового, сочетается с фактурой дамасского клинка, инкрустацией бриллиантами и золотом, а также элементами, обработанными открытым огнем (ил. 5). Броши соединяют новаторские и традиционные ювелирные решения в выборе материалов и способов обработки. Это наглядный манифест возможностей технологии в руках вдумчивого мастера (ил. 6 а, б, с).



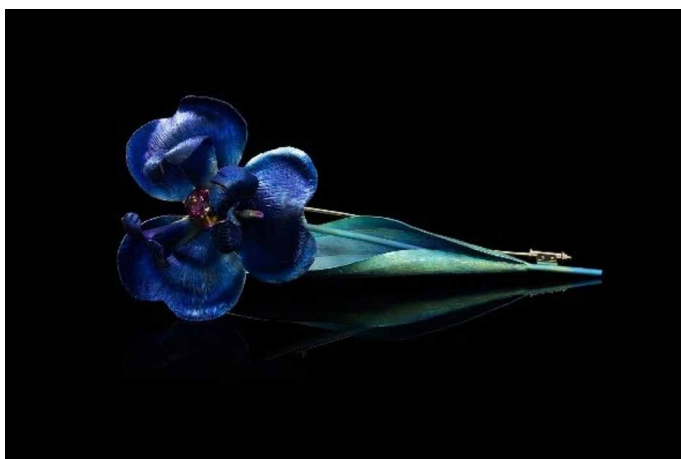
Ил. 5.

Пример синтеза технологий: нож «Готика». Автор — В. Плахов, 2025 г. Материал: рукоять выполнена из титана, клинок — из авторской дамасской стали; вставки: бриллиант, 2 шт., 2,45 мм, золото 999 пробы. Художественные техники: инкрустация, всечка, элементы обронной гравировки. Обработка поверхности титана: анодирование, открытый огонь в части рукояти с тимаскусом. Съемка В. А. Степаненко. Публикуется впервые

Заключение

Анодирование титана имеет преимущества, заключающиеся в повышении коррозионной стойкости, долговечности, износостойкости и твердости поверхности. Оно также обеспечивает привлекательные цвета. Титан биосовместим и может использоваться во многих сферах. С другой стороны, это сложный процесс: твердый материал может отколоть оксидный слой. Добиться равномерной толщины оксидного слоя и глубины окраски сложно.

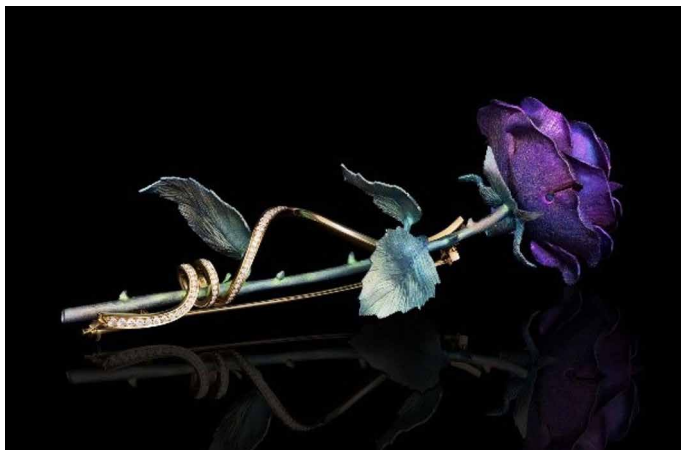
Перспективы развития лежат в еще более тонком контроле над наноструктурой, разработке новых электролитов для расширения палитры и создании предсказуемых методик для сложных сплавов. Очевидно, что титан, благодаря анодированию, окончательно утвердился в статусе материала XXI века — как для инженеров, так и для художников, открывая путь к созданию произведений, чья красота будет столь же долговечна, сколь и сам этот удивительный металл.



a)



b)



c)

Ил. 6.

Пример цветового решения: броши из титана. Автор — Р. Каракуртки, 2024 г. Материал: титан, золото, бриллианты, турмалин («Ирис»). Художественные техники: гибка холодная и горячая, выколотка, техники закрепки камня. Дизайн изделий выполнен в стиле «Бионика». Обработка титана: анодирование. Публикуется впервые.

6 а. — Ирис

6 б. — Сакура

6 с. — Роза

Список литературы

1. Диаманти М. В. и др. Стойкое анодное окрашивание титана: влияние электролита и стойкость цвета // *Electrochimica*. 2005. Т. 50. Вып. 18. С. 3679–3684.

2. Мошников В. А. и др. Электрические свойства и механизмы переноса заряда в наноразмерных анодных пленках TiO_2 при низких приложенных напряжениях / В. А. Мошников, Е. Н. Муратова, И. Врублевский, А. И. Максимов // *Inorganics* 2026. №14. (1):29.

3. Фрумин Г. Т., Сурков А. А. Электрохимическое формирование наноструктурированных оксидных покрытий на титане. СПб.: Химиздат, 2019. — 224 с.

4. Roy P., Berger S., Schmuki P. TiO_2 Nanotubes: Synthesis and Applications // *Angewandte Chemie International Edition*. 2011. Vol. 50. №13. P. 2904–2939.

1. Diamanti M. V. i dr. Stojkoe anodnoe okrashivanie titana: vliyanie e'lektrolita i stojkost' czveta // *Electrochimica*. 2005. T. 50. Vy'p. 18. S. 3679–3684.

2. Moshnikov V. A. i dr. E'lektricheskie svojstva i mexanizmy' perenosa zaryada v Nanorazmerny'x anodny'x plenках TiO_2 pri nizkix prilozhenny'x napryazheniyax / V. A. Moshnikov, E. N. Muratova, I. Vrublevskij, A. I. Maksimov // *Inorganics* 2026. №14. (1):29.

3. Frumin G. T., Surkov A. A. E'lektroximicheskoe formirovanie nanostrukturirovanny'x oksidny'x pokry'tij na titane. SPb.: Ximizdat, 2019. — 224 s.

Сведения об авторах

Плахов Владимир Валерьевич — гравер, член Гильдии оружейников России, призер конкурса ГОХРАН 2024 г.; Международная ювелирная школа, преподаватель

Россия, 190020, Санкт-Петербург, Бумажная ул., 17А

E-mail: shtixel.spb@gmail.com

Каракуртки Роман Сергеевич — Международная ювелирная школа, директор, преподаватель курсов по техникам закрепки камней

Россия, 190020, Санкт-Петербург, Бумажная ул., 17А

E-mail: kr@jewelleryschool.com

Хасиева Елена Ахсаровна — Международная ювелирная школа, руководитель проектов

Россия, 190020, Санкт-Петербург, Бумажная ул., 17А

E-mail: top@jewelleryschool.com

Plakhov Vladimir V. — metal artist, engraver, member of the Russian Guild of Weaponry Masters; the International Jewellery School, teacher

17A, Bumazhnaya St., Saint Petersburg, 190020, Russia

E-mail: shtixel.spb@gmail.com

Karakurkchi Roman S. — the International Jewellery School; Director, Teacher of Stone Setting Techniques

17A, Bumazhnaya St., Saint Petersburg, 190020, Russia

E-mail: kr@jewelleryschool.com

Khasieva Elena A. — the International Jewellery School, Project Manager

17A, Bumazhnaya St., Saint Petersburg, 190020, Russia

E-mail: top@jewelleryschool.com

Научное издание

**Художественное наследие. Исследования. Реставрация. Хранение.
Art Heritage. Research. Storage. Conservation.**

Свидетельство о регистрации СМИ ЭЛ № ФС77-82901

от 14.03.2022 г.

ISSN 2782-5027

Подписано в печать 30.06.2026 г.

Федеральное государственное бюджетное
научно-исследовательское учреждение
«Государственный научно-исследовательский институт реставрации»
107014, г. Москва, ул. Гастелло, д. 44, стр. 1
e-mail: journal@gosniir.ru
Сайт: <http://www.journal-gosniir.ru/>