

**Секция: химия**

Название работы:

# **«Получение медной патины»**

**Выполнила:**  
ученица 11 А класса  
**Ненашева Анастасия**  
**Научный руководитель:**  
**Волкова И.Ю.**

**Пенза 2020 г.**

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>5</b>
1.1 Образование естественной патины .....	5
1.2 Способы получения искусственной патины.....	6
<b>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>9</b>
2.1. Материалы исследования .....	9
2.2. Методы исследования.....	9
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ .....</b>	<b>11</b>
3.1. Термический способ получения патины.....	11
3.2. Химические способы получения патины.....	12
3.3. Электрохимический способ получения патины .....	15
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>18</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>19</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Медь – металл красно-розового цвета, известный человечеству с древних времен, поскольку встречается в природе в самородном виде. Она обладает комплексом ценных свойств, это один из лучших проводников тепла и электричества, один из самых пластичных и ковких металлов, последнее и определило его широкое распространение в качестве материала для изготовления оружия, материалов бытового назначения, монет и статуй еще в античности [1].

Хотя медь является малоактивным металлом, мало подверженным коррозии, все же на предметах старины, многовековых памятниках можно обнаружить налет. Эти покрытия, скрывающие металлический блеск меди и ее сплавов, называют “патиной”. Считается, что она придает изделиям благородный старинный вид [2].

Воссоздать процесс, идущий столетиями, можно искусственно за гораздо более короткий промежуток времени. Быстрое старение медных изделий под воздействием агрессивной среды, проводимое в лаборатории, называют “патинированием”.

Какие условия необходимо создать, чтобы провести искусственное патинирование? Какой вид будут иметь состаренные изделия? От чего это будет зависеть? Решению указанного круга проблем и посвящена данная работа.

**Целью** работы является: покрытие меди патиной, изучение условий ее образования.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести литературный обзор по имеющимся методикам искусственного старения медных изделий.
2. Провести практический сравнительный анализ найденных методик.
3. Установить качественные характеристики медной патины, полученной по выбранным методикам.
4. Изучить зависимость условий проведения процесса патинирования на качество покрытий.

Объект исследования: патиновое покрытие на медных изделиях.

Предмет исследования: условия проведения процесса патинирования.

Метод исследования: химический эксперимент.

Гипотеза исследования:

При создании специальных условий представляется возможным получение медной патины с заданными качественными характеристиками, такими как цвет, толщина покрытия,

прочность сцепления с поверхностью металла.

Актуальность темы:

Исследование по данной теме позволяет по разработанной методике с использованием простых и легкодоступных веществ и материалов смоделировать протекающие в природе процессы образования патины, получить искусственно патиновое покрытие меди, придающее изделию из данного металла ценный старинный вид.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Образование естественной патины

Патиной принято называть как естественно, так и искусственно образованную пленку на поверхности изделий из меди, а также латуни, бронзы и других сплавов с большим содержанием меди. Качественный и количественный состав патины может отличаться в зависимости от условий ее появления, но общим является то, что это продукты коррозии меди, появляющиеся под воздействием атмосферы или специальных химических реактивов [3].

Так, процесс атмосферной коррозии можно описать следующей схемой:



Постоянно присутствующие в атмосфере кислород, влага и углекислый газ воздействуют на металлическую медь и ее сплавы. Кроме того, находящиеся в следовых количествах оксиды азота, серы, соответствующие им кислоты, оказывают еще более агрессивное воздействие на металл [3].

Образованный основной карбонат меди II с различными примесями придает зеленую, бирюзовую, а иногда темную окраску и красивую фактуру нашим старинным культурным ценностям, бронзовым музейным экспонатам, скульптурам, археологическим находкам (рис. 1).



**Рис. 1. Медная патина на памятнике Петру I и монете 1790 г.**

Поскольку процесс естественной атмосферной коррозии длится многие десятилетия, то образованная патина имеет крупнокристаллическую структуру и хорошо сцеплена с поверхностью металла, что предотвращает дальнейший окислительный процесс и оказывает защитное действие. В отличие, скажем, от сплавов на основе железа, продукты окисления которого имеют рыхлую структуру и не препятствуют проникновению атмосферных газов вглубь металла, в конечном счете приводя к полному разрушению [4].

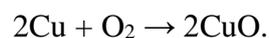
## 1.2 Способы получения искусственной патины

Все существующие способы патинирования можно разделить на три типа, причем для латуни, бронзы и меди они одинаковы:

- Термический – непосредственное воздействие на изделие открытого пламени.
- Химический – обработка изделия специальными химическими реактивами.
- Электрохимический – воздействие на изделие, помещенное в раствор специального электролита, электрическим током [3].

Нужно отметить, что по своему составу искусственная патина может быть аналогична естественной или отличаться, но в любом случае, поскольку процесс значительно ускорен, покрытия получают мелкокристаллические, зачастую плохо сцепленные с основой и подверженные истиранию. В связи с этим, в ряде методик полученную патину предлагается незамедлительно покрыть прозрачным лаком для фиксации результата, в других же случаях получают качественные покрытия, не требующие дополнительных манипуляций. Данные закономерности необходимо выявить экспериментальным путем.

Наиболее простыми в части исполнения и доступности материалов являются термический и химический способы [5]. По первой методике нужно медное изделие внести в пламя и непрерывно его перемещать непродолжительное время. При этом основным продуктом является оксид меди II, который, как мы знаем имеет черный цвет:



Медь действительно чернеет при долгом нагревании, однако непродолжительное нагревание может привести к получению «цветов побежалости» – это радужная окраска от желтой до синей. Такое явление часто можно наблюдать вблизи сварных швов из-за высокой температуры.



**Рис. 2. Цвета побежалости**

Радужный окрас возникает вследствие интерференции солнечного света в плёнке образовавшегося оксида меди II с различной толщиной. С ростом толщины последовательно возникают условия гашения лучей с определенной длиной волны. При малой толщине из белого

света вычитается фиолетовый спектр, а отражается дополнительный цвет – жёлтый. По мере роста толщины из солнечного света вычитается зелёный – наблюдаем красный, и т. д. [6]

Данный способ легко можно осуществить с помощью газовой горелки или конфорки кухонной плиты с соблюдением всех мер безопасности.

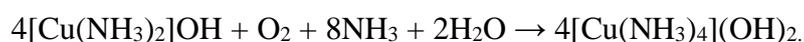
Среди химических наиболее распространены способы получения патины помещением медного изделия в атмосферу паров аммиака (нашатырного спирта) или серы [5]. Удастся получить черные и коричневые покрытия (рис 3):



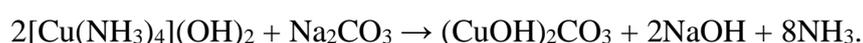
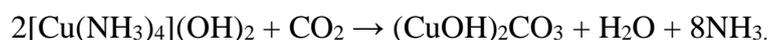
**Рис. 3. Темные оттенки патины на монетах**

Вместо серы можно использовать серную мазь, она, как и нашатырный спирт, доступна к приобретению в аптеках. Отпадает необходимость нагревания, достаточно просто хорошо растереть мазь по поверхности, а затем ее смыть.

Происходящие процессы можно описать следующим набором реакций:



Чтобы химическим путем получить патину, схожую по цвету и фактуре на естественную, нужно использовать дополнительные вещества, дающие окрашенные соединения меди от зеленого до синего. Для этих целей подходит поваренная соль, либо карбонат натрия (или аммония). Реакция протекает медленнее, чем в парах, т.к. доступ кислороду воздуха ограничен. После выдерживания в растворе синий налет патины, состоящий из солей тетраамминмеди II самопроизвольно начинает зеленеть вследствие поглощения углекислого газа из воздуха или связывания карбонат-ионов из раствора [7]:



Электрохимический метод патинирования может применяться как для состаривания медных изделий, так и для придания им декоративного вида. На цвет и структуру получаемых покрытий влияют ряд факторов, которые можно регулировать, как то температура раствора, его состав, время электролиза и напряжение, подаваемое на электроды – в этом заключается основное преимущество электрохимического патинирования [3].

Обычно патина, полученная данным способом, хорошо сцеплена с поверхностью металла и не требует дополнительной защиты. Для подачи напряжения на электроды лучше использовать источник постоянного тока с возможностью регулировки параметров, или, в самом простом случае, аккумуляторную батарею.

В литературе электрохимический способ патинирования описан крайне скудно. Удалось обнаружить всего два состава электролита [3, 5]: на основе сульфата меди II и сахарозы, а также сульфата меди II и хлорида аммония. Плохо изучены закономерности в получении патины от задаваемых параметров электролиза, не приведено объяснение процессов, проходящих на электродах. В связи с указанными проблемами было решено подробнее рассмотреть данный способ и установить наиболее оптимальные режимы проведения процесса патинирования.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Материалы исследования

Патинирование осуществлялось на пластинках из чистой меди марки М1 размером 50x10x0,1 мм с рабочей площадью поверхности 4 см<sup>2</sup>. Поверхность перед получением покрытий подготавливали для удаления окислов и жировых следов по ГОСТ 9.305–84, опуская их в раствор азотной кислоты 1:1 до равномерного выделения пузырьков газа по всей поверхности.

Оценку цвета патины производили визуально, качество сцепления покрытия с металлом оценивали по наличию патины на клеевой основе скотча после отрыва его от пластины.

Нагревание пластин осуществляли пропан-бутановой горелкой, а также спиртовкой.

Для химического получения патины использовали: концентрированный аммиак, кристаллическую серу, карбонат аммония, дистиллированную воду, хлорид натрия, декагидрат карбоната натрия, электрическую плитку, фильтровальную бумагу, химические стаканы, чашки Петри, емкость для химического патинирования с крышкой.

Для осуществления электрохимического патинирования использовали: прямоугольную гальваническую ячейку объемом 200 мл, медные пластины в качестве растворимых анодов, источник постоянного тока Б5-43, секундомер, дистиллированную воду, хлорид аммония, химические стаканы, технические весы, проводки с крокодилами.

### 2.2. Методы исследования

*Термический способ получения патины.* Медную пластину вносили в пламя горелки и непрерывно перемещали. Раскаленную медь при достижении необходимой окраски немедленно опускали в холодную воду для фиксации, потому как при медленном остывании процесс окисления будет продолжаться. После охлаждения тщательно промывали пластину, после высыхания производили тест на качество сцепления патины с металлом.

*Химические способы получения патины.* Опыты необходимо проводить в вытяжном шкафу для обеспечения хорошего проветривания. На дно сосуда насыпали серу, в другой сосуд налили 10%-ый раствор аммиака, в третий – раствор карбоната аммония, подвесили пластинки и прикрыли емкости крышкой для получения паров. В случае с серой сосуд необходимо нагреть на электрической плитке для появления в атмосфере ее паров, в раствор аммиака для этой цели можно добавить немного твердой щелочи.

В следующем опыте к 10%-му раствору аммиака прибавили кристаллы хлорида натрия в одном случае, в другом – декагидрата карбоната натрия до полного растворения, целиком

погружали медные пластинки в указанные растворы, а также в индивидуальный раствор 10%-ого аммиака для сравнения. В данном случае определяющим фактором будет являться само присутствие указанных солей в растворе, а не их концентрация. Еще в одном случае поместили пластинку в твердый карбонат аммония.

Спустя некоторое время медь начинает темнеть, реакцию заканчивают по достижении желаемого результата. Полученные покрытия промывали проточной водой и проводили тест со скотчем.

*Электрохимический способ получения патины.* Приготовление электролита патинирования:

1. На весах берем навеску хлорида аммония массой 5,35 г.
2. Пересыпаем навеску в мерную колбу на 200 мл, добавляем дистиллированную воду и перемешиваем. После полного растворения доводим уровень жидкости в колбе до метки, закрываем пробкой и тщательно перемешиваем.

Концентрация хлорида аммония в приготовленном электролите составляет 0,5 М. Электролит заливаем в гальваническую ячейку, исследуемую медную пластину погружаем в электролит и подключаем к отрицательному полюсу источника постоянного тока (в качестве катода), две другие платины – к положительному полюсу (в качестве анодов). Задаем необходимое значение силы тока и наблюдаем за процессом электролиза, периодически вынимая катод из ячейки.

### ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

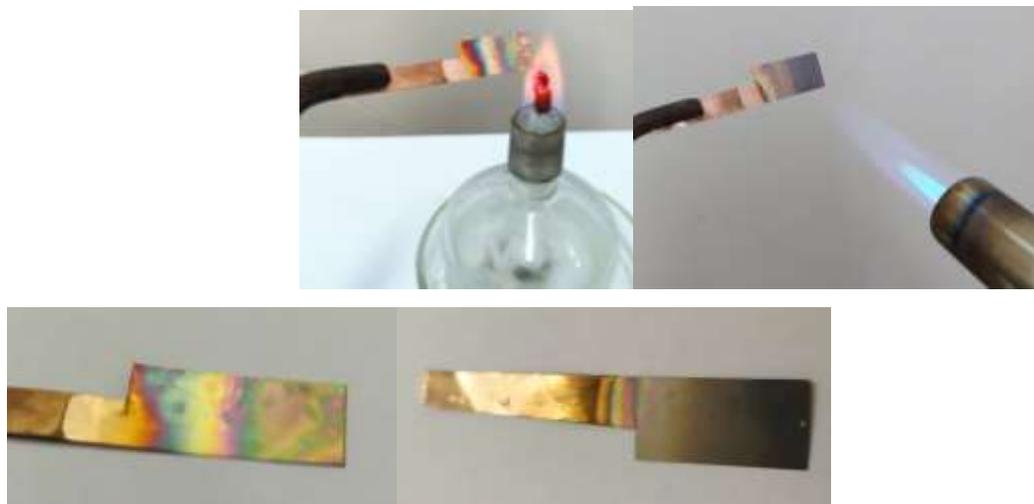
Медные пластинки протравили в растворе азотной кислоты 1:1, чтобы патиновое покрытие лучше сцепилось с основой (рис. 4):



**Рис. 4. Медные пластинки после протравливания**

#### 3.1. Термический способ получения патины

Отрегулировали выступ фитиля спиртовки таким образом, чтобы пламя было минимально по высоте, подачу газа в горелке также выставили на минимальное значение. Взяв пластинку в тигельные щипцы, подносили ее к пламени и засекали время, за которое произойдет патинирование (рис. 5):

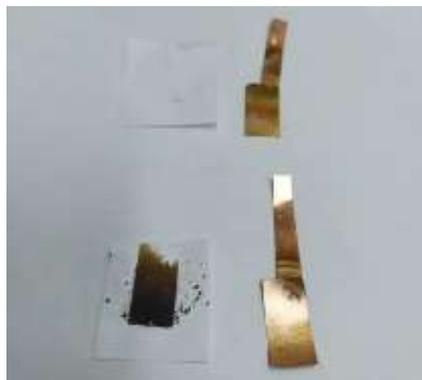


**Рис. 5. Термическое патинирование (слева – с помощью спиртовки, справа – с помощью горелки)**

Нагревание над спиртовкой длилось 1 минуту (появились цвета побежалости), тогда как патинирование пламенем горелки завершилось за 4 секунды, что вероятнее всего связано с высокой температурой пламени последней. Из литературных данных [8], максимальная температура пламени спиртовки составляет не более 900°C, тогда как температура пламени пропан-бутановой горелки достигает 1300°C. Понятно, что чем сильнее раскалилась медная пластинка, тем быстрее на ней будет идти процесс окисления, т.е. процесс патинирования.

Горелка позволила за очень короткий срок получить толстый слой оксида меди II черного цвета.

Для нас было важно узнать, как скорость окисления повлияет на качество сцепления полученной пленки с металлом, для этого провели экспресс-тест со скотчем (рис. 6):



**Рис. 6. Термическое патинирование. Экспресс-тест на качество сцепления патины с основой (верхняя пластинка нагревалась спиртовкой, нижняя – горелкой)**

Видно, что патина, полученная нагреванием пластинки пламенем спиртовки хорошо сцеплена с поверхностью металла (клеевая основа скотча не содержит следов патины), тогда как покрытие, полученное с помощью горелки, было полностью снято с пластинки. Данный опыт позволил установить – чем быстрее идет процесс патинирования, тем хуже патина сцеплена с основой.

### **3.2. Химические способы получения патины**

*Патинирование парами серы:* по мере остывания паров серы в сосуд помещали три пластинки (каждую по 15 минут). Было замечено, что с горячими парами медная пластинка чернеет быстрее, а пластинка, помещенная в сосуд последней (с остывшими парами) лишь немного покрылась коричневатым налетом.



**Рис. 7. Патинирование парами серы**

Исследовали сцепление патины с поверхностью металла (рис. 8):



**Рис. 8. Патинирование парами серы. 1- горячие пары, 2- остывшие, 3- частично сконденсированные**

Выявили аналогичную термическому способу закономерность – чем быстрее протекание реакции (выше температура), тем сцепление патины с медью хуже.

*Патинирование парами аммиака.* Для лучшего понимания механизмов образования патины нами были исследованы различные условия проведения эксперимента. Длительность патинирования во всех опытах составляла 30 минут. Для начала в один сосуд налили 10%-ый раствор аммиака с небольшим количеством гидроксида натрия для более полного наполнения сосуда парами. В другой сосуд поместили раствор карбоната аммония, подверженной гидролизу в значительной степени, т.к. соль образована слабой кислотой и слабым основанием, вследствие этого атмосфера над раствором должна быть насыщена аммиаком и углекислым газом:



Кроме того, исследовали влияние наличия воды на поверхности металла на скорость образования патины и ее фактуру – во второй сосуд с раствором карбоната аммония подвесили две пластинки, сухую и влажную (рис. 9):



**Рис. 9. Пластинки над раствором карбоната аммония (слева-влажная, справа – сухая)**

Влажная пластинка почти сразу окрасилась в насыщенный синий цвет, что свидетельствует об окислении меди и образовании  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ . Таким образом, наличие влаги способствует концентрированию паров вокруг меди и интенсификации процесса получения патины.

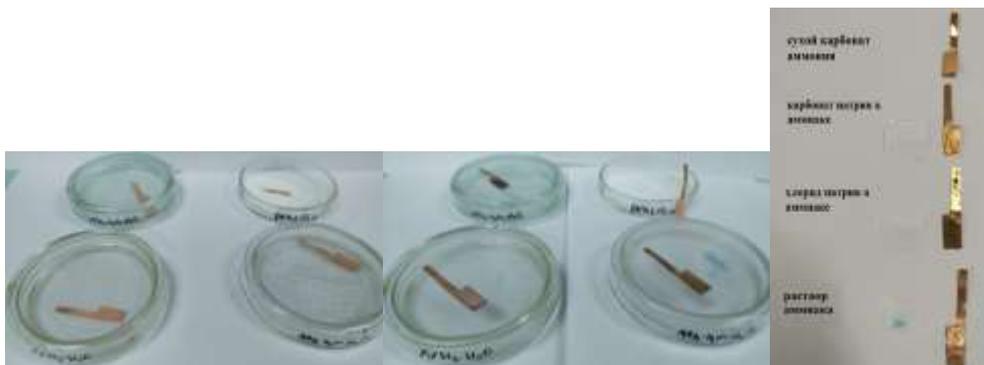
По завершении опыта получили покрытия темных оттенков. Наилучший результат был

достигнут в случае выдерживания пластинки над парами аммиака, сцепление патины с медью оказалось удовлетворительным. Пластинки, выдержанные над раствором карбоната аммония, покрылись неравномерными коричневатыми пятнами неудовлетворительного качества (рис. 10):



**Рис. 10. Пластинки, выдержанные в парах аммиака, а также аммиака с углекислым газом**

Далее было решено выяснить, как влияет концентрация окислителя – кислорода воздуха около пластинки на скорость образования патины, а также влияние на цвет и фактуру получаемого покрытия наличия в коррозионной среде таких веществ, как хлорид натрия и карбонат натрия. Очевидно, что полностью погруженные в растворы пластинки испытывают на себе меньшее влияние окислителя вследствие меньшей его концентрации в жидкости, чем в газовой коррозионной среде. Действительно, с медными пластинками, погруженными в растворы, долгое время не наблюдалось никаких изменений, активно патина начала образовываться на стадии просушки, когда был обеспечен доступ воздуха (рис. 11):



**Рис. 11. Погружение пластинок в исследуемые растворы и твердый карбонат аммония**

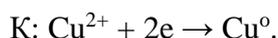
Таким образом, наличие окислителя – кислорода является обязательным условием для получения патины, причем, чем выше его концентрация, тем быстрее идет процесс.

Темное покрытие удовлетворительного качества, хорошо сцепленное с основой, получилось при выдерживании пластинки в растворе аммиака с хлоридом натрия. Наличие карбоната натрия в растворе привело к появлению на пластине светлого желто-зеленого пятна.

Помещение пластинки в твердый карбонат аммония не дало никаких видимых результатов, что в очередной раз свидетельствует о необходимости присутствия влаги в коррозионной среде.

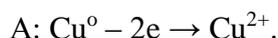
### 3.3. Электрохимический способ получения патины

Анализ всей имеющейся литературы по данному способу позволил отметить ключевые факторы, позволяющие получать патину на изделиях. Обрабатываемый предмет должен подключаться к катоду, таким образом, в не зависимости от формы, в которой пребывают катионы меди в растворе (в составе аква- или аммин-комплексов, либо в связи с сахарозой), происходит осаждение металлической меди. Например, для электролита, основным компонентом которого служит сульфат меди II, катодный процесс будет выглядеть следующим образом:

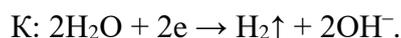


Очевидно, что пока идет процесс электролиза, на катоде идет восстановление меди в той или иной форме и никакой окислительный процесс невозможен, в частности получение патины. Патинирование свежесосажденной на катоде меди начинается сразу после завершения электролиза уже в агрессивной среде электролита и еще быстрее на воздухе при высыхании изделия.

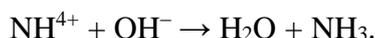
Данный анализ позволил нам заключить, что состав электролита играет не первостепенную роль при получении патины и его можно существенно упростить. В связи с этим приготовленный нами электролит содержал только хлорид аммония, раствор которого обладает высокой электропроводностью, т.к. это сильный электролит, а источником меди служили растворимые медные аноды:

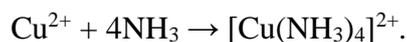


В первый момент времени после включения источника тока в растворе нет катионов меди, на катоде восстанавливается вода, что заметно по выделению пузырьков газа:



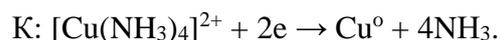
pH среды раствора повышается, что приводит к образованию аммиака, который в свою очередь образует комплекс с катионами меди – раствор окрашивается в насыщенный синий цвет (рис. 12):





**Рис. 12. Появление синей окраски электролита**

И далее образованный комплекс восстанавливается на катоде:



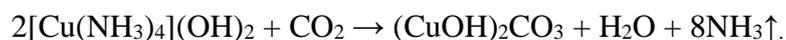
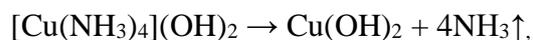
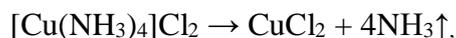
Все вышеуказанные процессы приводят к осаждению на катоде металлической меди, имеющей рыхлую структуру, что облегчает дальнейшее действие агрессивной среды для получения патины.

Пластинка после изъятия из гальванической ванны первоначально окрашена в темно-синий, почти черный цвет, на воздухе происходит быстрое исчезновение данного цвета и постепенное образование патины с зелеными, бирюзовыми, синеватыми оттенками (рис. 13):



**Рис. 13. Высыхание пластинки после электролиза**

Наблюдаемые явления можно описать следующими уравнениями реакций:



Собрали установку (рис. 14) для исследования зависимости качества покрытий от катодной плотности тока:

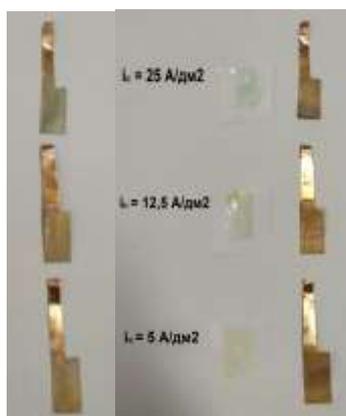
$$i_{\text{к}} = I/S,$$

где  $I$  – сила тока,  $S$  – площадь рабочей поверхности пластинки.



**Рис. 14. Установка для получения патины электрохимическим путем**

Электрохимический способ оказался единственным, позволяющим получить покрытия зеленых оттенков, схожих по цвету и фактуре с естественной патиной. Промытые и высушенные пластинки проанализировали на качество сцепления патины с основой (рис. 15):



**Рис. 15. Влияние катодной плотности тока на качество патины**

Выяснилось, от катодной плотности тока качество сцепления мало зависит, но при этом ведение процесса при более высоком параметре  $i_c$  предпочтительнее в силу того, что за один и тот же промежуток времени удается получить покрытия большей толщины, т.е. интенсифицировать процесс патинирования.

По итогу, выбрав наиболее оптимальный режим нанесения покрытия в  $25 \text{ A/dm}^2$ , взяли более массивное медное изделие и произвели его патинирование (рис. 16):



**Рис. 16. Электрохимическое патинирование медного изделия**

## ВЫВОДЫ

1. Проведен сравнительный анализ термических, химических и электрохимических способов получения медной патины.
2. Установлены качественные характеристики полученной по различным методикам патины, такие как цветность, сцепление покрытия с металлом.
3. Хорошо сцепленные с основой темные патиновые покрытия получаются при погружения медного изделия в 10%-ый раствор аммиака с добавлением хлорида натрия. Качественные покрытия с зелеными оттенками получаются электрохимически из простого по составу электролита – раствора хлорида аммония, рекомендуемая катодная плотность тока составляет 25 А/дм<sup>2</sup>.
4. Подробно изучено и теоретически обосновано влияние различных условий проведения процесса патинирования на характеристики формируемых покрытий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подчайнова В. Н., Симонова Л. Н. Медь. – М.: Наука, 1990. – 279 с.
2. Федотов Г. Я. Чеканка, басма, насечка. – М.: Знание, 1989 – 30 с.
3. Никитин М.К. Химия в реставрации – Л.: Химия , 1990. – 304 с.
4. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 416 с.
5. Патинирование меди и других металлов. Art Gallery Aeromake. URL: <http://aeromake.ru/articles/124> (дата обращения: 18.12.2020).
6. Каменичный И.С. Спутник термиста. 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Техника, 1978. – 230 с.
7. Ахметов Н. С. Общая и неорганическая химия. – М.: Высш. шк.; Академия, 2001. – 743с.
8. Тотай, А. В. Теория горения и взрыва : учебник и практикум для прикладного бакалавриата / А. В. Тотай, О. Г. Казаков ; под редакцией А. В. Тотая, О. Г. Казакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2016. – 295 с.

## **Рецензия**

**на исследовательскую работу ученицы 11 А класса**

**МБОУ СОШ № 47 г. Пензы**

**Ненашевой Анастасии**

**Тема работы: «Получение медной патины»**

**Научный руководитель: учитель химии Волкова И.Ю.**

Данная работа посвящена изучению влияния различных условий получения искусственной медной патины на ее свойства и характеристики.

Проведенное исследование, несомненно, актуально, оно позволяет по разработанной учеником методике с использованием простых и легкодоступных веществ и материалов смоделировать протекающие в природе процессы образования патины, получить искусственно патинное покрытие меди, придающее изделию из данного металла ценный старинный вид.

Ненашева Анастасия изучила и реализовала на практике сразу три способа патинирования: термический, химический и электрохимический методы. По результатам работы были выявлены наиболее оптимальные условия проведения эксперимента, отмечен ряд важных закономерностей при получении патинных покрытий.

Ценным является то, что все наблюдаемые на практике явления были грамотно теоретически описаны и объяснены автором на высоком фундаментальном уровне с применением химических формул веществ и уравнений протекающих реакций.

Представленная работа имеет чёткую и логично выстроенную структуру. Имеются введение, теоретическая и практическая части, подробным образом описаны материалы и методики, применяемые в работе, также есть заключение и библиографический список. В работе выделены цель, объект, предмет, гипотеза, актуальность и задачи исследования, присутствует анализ полученных результатов. В практической части

использованы различные подходы к решению поставленных задач, что указывает на высокий уровень освоения навыков исследовательской работы.

Материал в работе изложен последовательно и чётко. Поставленные задачи были выполнены, а результаты отражены в выводах. Считаю, что исследовательская работа Ненашевой Анастасии может быть представлена на городской научно-практической конференции и заслуживает высокой оценки.

Рецензент:

Доктор технических наук, доцент  
Декан факультета промышленных технологий,  
электроэнергетики и транспорта  
Пензенского государственного университета



С.Ю. Киреев