

УДК 669.017:621.352

ДЕКОРАТИВНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ЮВЕЛИРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ СПЛАВОВ

С.И. Галанин

Костромской государственной технологической академии

Рассмотрены процессы декоративной электрохимической и химической обработки поверхности ювелирно-художественных сплавов: травление, фрезерование, фактурирование, полирование, формирование конверсионных и гальванических покрытий. Показано преимущество электрохимических и химических технологий по сравнению с традиционной механической обработкой.

Ключевые слова: декоративная обработка металлов; электрохимическая и химическая обработка металлов.

Введение

В последнее время в мировом производстве и потреблении ювелирных изделий, а также бижутерии, наметились явные тенденции к резкому расширению ассортимента за счёт оригинальных дизайнерских решений, использования новых нетрадиционных материалов, металлов, сплавов и покрытий различных цветов и оттенков, сложнопрофилированных и сложнофактурированных поверхностей. При изготовлении таких изделий используется ряд современных технологий, оборудования и материалов, над разработкой которых трудится большое количество профильных научно-исследовательских и опытно-конструкторских зарубежных организаций и предприятий. К громадному сожалению, в России такие исследования практически не производятся, а отечественный производитель не готов к использованию зарубежных новшеств. На большинстве российских предприятий отсутствуют специалисты, дизайнерские идеи, материалы, технологии и оборудование по созданию и серийному выпуску подобных современных изделий. Такое положение вещей тем более тревожно из-за вступления России в ВТО, когда отечественные производители в подавляющем большинстве случаев могут оказаться неконкурентоспособными по сравнению с зарубежными. [2, 6, 18. 19]

Однако существует серьёзная альтернатива иностранным технологиям – электрохимическая обработка (ЭХО) и химическая обработка (ХО) поверхности металлов и сплавов с целью их декорирования, известная ещё с позапрошлого века. По ряду объективных и субъективных причин она не находит должного применения у нас в стране в различных областях промышленности, в том числе и в производстве ювелирно-художественных изделий. К таковым можно отнести недостаточную компетентность технологов-

металлообработчиков, традиционное использование не всегда совершенных альтернативных технологий и оборудования зарубежного производства, нежелание производителей менять устоявшиеся привычные производственно-технологические цепочки, отсутствие необходимости декорирования поверхности изделий из-за убогости ассортимента изделий и многое другое. [6, 7]

В рамках настоящей статьи сделана попытка обзора возможностей декоративной ЭХО и ХО обработки поверхности различных металлов и сплавов, в той или иной мере используемых при изготовлении ювелирно-художественных изделий.

Электрохимическое и химическое декорирование поверхности

Под электрохимическим и химическим декорированием металлической поверхности принято понимать определённый набор операций:

- полирование и глянцеование с целью снижения шероховатости и придания высокой отражательной способности и блеска;
- травление с целью придания определённой шероховатости или фактуры;
- сквозное или полостное фрезерование по заданному контуру, как правило, с использованием различных трафаретов;
- формирование конверсионных покрытий, обладающих определёнными физико-механическими и колористическими свойствами;
- нанесение гальванических защитно-декоративных металлических покрытий, обладающих определённой фактурой, отражательной способностью, цветом или оттенком.

Преимущества ЭХО и ХО по сравнению с традиционной механической обработкой известны технологам-металлообработчикам давно и не вызывают сомнений:

- возможность обработки любых металлов и сплавов, независимо от их физико-механических свойств (твёрдости, вязкости, хрупкости);
- отсутствие расходуемого дорогостоящего инструмента;
- возможность обработки деталей любой конфигурации;
- меньший расход металла и возможности простой утилизации шламов практически без потерь, что особенно важно при обработке драгоценных металлов и сплавов.

К недостаткам можно отнести повышенные энергозатраты (в случае ЭХО) и необходимость использования вытяжной вентиляции для отвода летучих продуктов реакции из зоны обработки.

ХО по сравнению с ЭХО проще в исполнении, не требует внешних источников питания. Однако при её использовании трудно регулировать скорость обработки, необходимо строгое соблюдение режимов, подбор состава электролита для конкретного сплава и частая смена дорогостоящих растворов, требующих последующей утилизации.

На кафедре технологии художественной обработки материалов, художественного проектирования, искусств и технического сервиса Костромского государственного технологического университета на протяжении более двадцати лет проводятся научные исследования и ОКР в области ХО и ЭХО поверхности ювелирно-художественных металлов и сплавов. Результатом явилась разработка ряда технологических процессов и установок для декоративной обработки широкой гаммы чёрных и цветных металлов и сплавов, нашедших широкое применение на ювелирных и металлообрабатывающих предприятиях. Использование электротехнологий в обработке поверхности сложнопрофилированных, сложнофактурированных, перекрывающих и экранирующих друг друга поверхностей, а также при создании широкой гаммы конверсионных декоративных покрытий позволяет по-новому взглянуть на проектирование изделий и значительно расширяет возможности дизайнера-проектировщика. [6, 7, 18, 20, 40, 48]

Полирование и глянцеование

Химическое полирование (ХП) и глянцеование поверхности металлов и сплавов, а также электрохимическое полирование (ЭХП) и глянцеование при изготовлении ювелирно-художественных изделий и бижутерии используется весьма ограничено. Примерами могут являться:

- электрохимическое снятие обогащённого слоя с золотых отливок после литья по выплавляемым моделям в растворах тиомочевины и серной кислоты со всевозможными добавками [1, 50];
- «бомбинг» для полирования поверхности ювелирных изделий из сплавов золота и серебра в смеси цианидов и пероксида водорода, ограниченно используемый из-за проблем с охраной труда [47, 49];
- электрохимическое полирование поверхности меди и сплавов на её основе при изготовлении бижутерии и изделий малой пластики в растворах ортофосфорной кислоты с различными добавками [7, 44];
- система шлифовки и полировки серебра РМГ, разработанная ООО «Современные Ювелирные Технологии», использующая совмещённую электрохимико-абразивную обработку и ограниченно применяемая в промышленности из-за больших габаритов и низкой производительности [46];
- ряд других установок и процессов отечественного и зарубежного изготовления, применяемых весьма фрагментарно.

Нами достаточно подробно изучены процессы ЭХП различных металлов и сплавов с использованием униполярных и биполярных коротких импульсов тока: сталей 20Х13, 40Х13, 60Г, У8 [31, 51]; меди и сплавов на её основе [7, 16, 32, 39, 44]; серебра и сплавов 925 пробы [3, 7–9, 16, 27, 31, 34]; различных сплавов золота 585 пробы [7, 15–17, 27, 28, 31, 33, 35, 38, 42, 48, 52, 53]. Предложены технологические процессы полирования и соответствующее оборудование [7, 21–28, 31, 48, 52, 53].

Особенностью процесса ЭХП является необходимость поддержания обрабатываемой металлической поверхности в определённых стабильных

условиях в узком диапазоне режимов, обеспечивающих баланс между анодным растворением выступов и пассивацией металла во впадинах. В этом случае наблюдается сглаживание микронеровностей поверхности. Предпочтительно использование биполярных импульсов тока, так как это обеспечивает воспроизводство оптимальных условий полирования от импульса к импульсу и поддержание их постоянными в течение всего процесса обработки.

Интересен факт, что электрохимически обработанная в таких условиях поверхность обладает большей отражательной способностью (блеском) по сравнению с обработанной механическим способом и обладающей аналогичной микрошероховатостью. Это объясняется большей геометрической однородностью электрохимически сформированных микровыступов по высоте. При механической обработке зёрна используемого абразива полидисперсны по размерам и оказывают различное воздействие на поверхность. В результате при общей аналогичном среднем размере больше разброс по высоте сформированных микровыступов. Кроме того, чем меньше затронута поверхность предварительной механической обработкой, тем качественнее результат ЭХП. [7, 29, 38, 48]

Эффективность ЭХП, выражающаяся в отношении уменьшения высоты микронеровностей к массе удалённого металла, возрастает в ряду:

постоянный ток < импульсный униполярный < импульсный биполярный.

То есть, при использовании биполярных импульсов тока определённых амплитудно-временных параметров эффект полирования проявляется быстрее при меньшем удалении металла. А при использовании постоянного тока зачастую невозможно добиться высоких параметров полированной поверхности, что не позволяет в ряде случаев рассматривать ЭХП на постоянном токе как финишную операцию. [7, 27, 38, 48]

Травление, фактурирование (текстурирование)

На отечественных предприятиях, как правило, для фактурирования гладких поверхностей используются:

- механические устройства формирования алмазной грани;
- пескоструйные аппараты;
- ручное формирование фактур штихелями или другим механическим инструментом.

Алмазная грань имеет специфический внешний вид и характеризуется мелкими светоотражающими гранями, создающими эффект переливчатости. Пескоструйными аппаратами создаётся только мелкая матовая фактура, так называемое сатинирование. Ручное фактурирование весьма трудоёмко, особенно поверхностей больших площадей и на деталях малых толщин, и применяется, в основном, в эксклюзивных и малосерийных изделиях.

ЭХО и ХО поверхности металлов позволяют подбором составов электролитов и режимов электролиза регулировать процесс растворения в широких пределах, создавая фактуры различного профиля и внешнего вида. При этом возможно фактурирование любых сложнопрофилированных поверхно-

стей, сочетание многих фактур на различных участках, обработка широкой гаммы материалов, независимо от их физико-механических свойств, без использования дорогостоящего оборудования.

Нами разработаны технологические процессы фактурирования поверхности широкой гаммы ювелирно-художественных металлов и сплавов, как с использованием постоянного, так и импульсного тока [7, 12, 27, 30, 36, 44]. Причём получение крупной, средней, мелкой фактур и полированной поверхности при необходимости возможно в электролите одного состава при варьировании параметрами электролиза и амплитудно-временными параметрами импульсов тока.

Большое внимание при этом должно уделяться предистории обрабатываемого металла, то есть необходимо контролировать ряд предварительных процессов его обработки. Результат поверхностной декоративной ХО и ЭХО во многом определяется размерами и формой зёрен, а также состоянием межзёренных границ. Выявлена непосредственная связь предварительной механической и термической обработки, проведения её в окислительной или безокислительной среде на качество полирования и величину фактуры поверхности. [3, 4, 7, 30]

Фрезерование (гравирование)

Очень часто в ювелирно-художественных изделиях используется сквозное или полостное фрезерование по заданному контуру. Это могут быть всевозможные рисунки и надписи, формируемые на гладких поверхностях, например, на поверхности лезвий ножей, оформление окладов икон, формирование полостей под последующее эмалирование и многое другое. Операция производится, как правило, с использованием различных трафаретов. Выбор технологии формирования или нанесения трафарета во многом определяет не только качество и чёткость воспроизведения получаемого рисунка, но и возможность процесса в целом. Выделяющиеся в результате химических и электрохимических реакций газы и тепло разрушают трафаретную плёнку, происходит её отслаивание, как на краях, так и по границам пор. Определяющим здесь становится сплошность материала трафарета, его адгезия к поверхности металла, а также устойчивость под действием температуры, электролита и образующихся химических веществ.

Подбором составов электролитов и режимов обработки можно формировать полости не только заданной формы и размера, но и с контролируемой шероховатостью и текстурой внутренних поверхностей. Это позволяет увеличивать сцепляемость эмалей с поверхностью, создавать эффекты гильошировки и контраста поверхностей на выступах и впадинах гравированного рисунка и др. [4, 7, 12, 29, 30]

Конверсионные покрытия

Конверсионные покрытия различных цветов и оттенков очень часто используются для декорирования поверхности алюминия, титана, циркония, ниобия, никеля, серебра, меди и сплавов на их основе. Эти плёнки могут

иметь окраску вследствие определённого состава и толщины, или она формируется при пропитке пор плёнки различными красящими веществами, как, например, на алюминии и ряде его сплавов. На ряде металлов (титан, цирконий, ниобий, никель и др.) конверсионные плёнки можно создавать термообработкой при фиксированных температурах. Однако в этом случае покрытия обладают ограниченной цветовой гаммой.

Проведённые исследования показывают зависимость свойств химически и электрохимически формируемых конверсионных плёнок от состава и микроструктуры сплава, режимов электролиза, состава электролита, амплитудно-временных параметров импульсов тока. Их последующее цветовое восприятие существенно определяется микрошероховатостью и фактурированностью поверхности, спектром освещения. Многие покрытия недостаточно устойчивы при атмосферных условиях и требуют защиты прозрачными лаками, что также изменяет их цветовое восприятие. Поэтому при использовании таких плёнок необходим учёт целого ряда взаимозависимых факторов ещё на этапе проектирования ювелирно-художественных изделий. [4, 5, 10, 13, 14, 37, 46]

Гальванические цветные металлические покрытия

Гальваническое нанесение металлов и сплавов различных цветов и оттенков, в том числе и драгоценных, наиболее широко используется в отечественной ювелирной промышленности. Наносятся как чистые металлы, так и сплавы серебра, золота, родия, палладия, индия, хрома и др. При этом возможно получение множества оттенков белого и серого, жёлтого и красного, зелёного и синего цветов. В последнее время созданы коричневые, голубые, пурпурные, чёрные, зелёные цвета золотых покрытий [43]. При этом часто дизайнеры пытаются использовать три, четыре и больше цветов в одном ювелирном изделии [41].

Проведённые нами исследования показали, что зрительное восприятие более трёх оттенков золотых покрытий в одном изделии затруднено для человеческого глаза. Кроме того на это восприятие существенное влияние оказывает спектр освещения, то есть при дневном или вечернем освещении носится (эксплуатируется) изделие. Оказывает существенное влияние и фактура поверхности – различия в оттенках заметнее на матовых и фактурированных поверхностях, а на полированных оттенки сливаются. [11]

Поэтому использование большого числа оттенков покрытий или сплавов различных цветов в одном изделии с точки зрения эстетического восприятия нецелесообразно, или требует от дизайнера-проектировщика хорошего вкуса и учёта многих взаимоисключающих факторов.

Заключение

Использование химических и электрохимических технологий обработки и декорирования поверхности металлов и сплавов, с одной стороны, раскрывает новые возможности перед дизайнером, а с другой – требует осо-

бых знаний, которыми подавляющее большинство проектировщиков ювелирно-художественных изделий не обладает. Подготовка специалистов, владеющих этими знаниями, и использующими их в практической деятельности при создании изделий, позволит выпускать конкурентоспособную продукцию, удовлетворяющую самые изысканные вкусы покупателей.

Библиографический список

1. Анодная обработка изделий из сплавов золота: Пособие по технологическому процессу производства ювелирных изделий. Л.: ВНИИювелирпром, 1975. – 28 с.
2. Беркович М.И. Ювелирное производство в России / М.И. Беркович, С.И. Галанин // ЭКО, №7, 2009. – С.163–174.
3. Галанин С.И. Влияние предварительной механической и термической обработки на микроструктуру и эффективность полировки сплава Ag–7,5Cu / С.И. Галанин, Е.П. Гришина, О.А. Иванова, Ю.Л. Нельмина // Физика и химия обработки материалов, 2004, №2. – С. 56–60.
4. Галанин С.И. Влияние предварительной механической и термической обработки на электрохимическое и химическое декорирование поверхности титанового сплава ОТ4–1 / С.И. Галанин, Л.В. Попова, Ю.П. Евграфова, С.А. Соков // Вестник КГТУ. Кострома: изд-во КГТУ, 2009, №20. – С.62–69.
5. Галанин С.И. Возможность управления свойствами поверхностной оксидной плёнки сплава на основе алюминия А6 при изменении амплитудно-временных параметров импульсов технологического тока / С.И. Галанин, И.А. Макшанчиков // Сб. трудов VII РНТК «Соврем. электротехнология в промышленности центра России»: Тула, ТулГУ, 2004. – С. 34–37.
6. Галанин С.И. Дизайн и технология ювелирных изделий: российские особенности / С.И. Галанин, К.Н. Колупаев // Дизайн. Материалы. Технология: СПб, СПбУТиД, 2011. – 2(17). С.60–63.
7. Галанин С.И. Дизайн ювелирно-художественных изделий с использованием электрохимической отделки поверхности металлов импульсными токами. Кострома: изд-во КГТУ, 2008. – 187 с.
8. Галанин С.И. Закономерности плёнообразования при электрохимическом полировании серебра и его сплавов с медью в тиосульфатных растворах / С.И. Галанин, Е.П. Гришина, О.А. Иванова // Журнал прикладной химии, 2004, т. 77, вып. 8. – С. 1299–1302.
9. Галанин С.И. Закономерности электрохимического полирования серебра и его сплавов импульсным током в тиосульфатном электролите / С.И. Галанин, О.А. Иванова // Сб. трудов VII РНТК «Современная электротехнология в промышленности центра России»: Тула, ТулГУ, 2004. – С. 30–34.

10. Галанин С.И. Исследование блеска поверхности и цвета патины на латунях / С.И. Галанин, В.О. Агафонов, А.С. Галанина // Мир гальваники: СПб, 2009, №1(09), 2009. – С.38–42.
11. Галанин С.И. Исследование декоративных свойств цветных гальванических покрытий на поверхности серебра / С.И. Галанин, Е.Д. Собельман, К.Н. Колупаев // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. М.: МГУПИ, 2010, вып. 5. – С.16–30. (Режим доступа: <http://www.enidtp.ru>)
12. Галанин С.И. Исследование процесса электрохимического фактурирования поверхности сплавов серебра 925 пробы / С.И. Галанин, Ю.В. Галамий // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. М.: МГУПИ, 2010, вып. 5. – С.1–15. (Режим доступа: <http://www.enidtp.ru>).
13. Галанин С.И. Исследование формирования цветных конверсионных плёнок на поверхности серебра / С.И. Галанин, Ю.В. Галамий // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. М.: МГУПИ, 2010, вып. 5. – С.86–99. (Режим доступа: <http://www.enidtp.ru>).
14. Галанин С.И. Исследование электрохимического формирования декоративных цветных плёнок на поверхности титана ОТ4–1 / С.И. Галанин, Л.В. Попова, Ю.П. Евграфова // Дизайн. Материалы. Технология. №2(9), 2009. – С.20–22.
15. Галанин С.И. Особенности распределения тока при использовании титановых подвесочных приспособлений при электрохимическом полировании золота биполярными импульсами тока / С.И. Галанин, И.В. Калинин, А.С. Галанина // Электронная обработка материалов, 2009, №3. – С.35–41.
16. Галанин С.И. Особенности электрохимического полирования поверхности металлов и сплавов короткими импульсами тока // IX International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms in association with the II SEACM Conference on Computational Mechanics. August, 2004. – Liberec, Czech Republic. – P. 303–307.
17. Галанин С.И. Полирование и глянцеование сложнопрофильных изделий из золота импульсами тока / С.И. Галанин, М.В. Сорокина, А.Ю. Токмаков, А.С. Галанина // Ювелирное обозрение, март 2007. – С. 77.
18. Галанин С.И. Проблемы дизайна отечественных ювелирных изделий / С.И. Галанин, К.Н. Колупаев // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. М.: МГУПИ, 2011, вып. 6. – С.62–70. (Режим доступа: <http://www.enidtp.ru>).
19. Галанин С.И. Проблемы российской ювелирной отрасли / С.И. Галанин, С.А. Шорохов // Вестник РАЕН, 2011, №2. – С.85–90.
20. Галанин С.И. Проектирование ювелирных изделий с учётом технологии обработки их поверхности / С.И. Галанин, М.В. Сорокина, А.С. Галанина, Е.А. Воробьёва // Дизайн. Материалы. Технология, №4 (7), 2008. С.3–8.

21. Галанин С.И. Способ импульсного электрохимического глянцева-ния золота и его сплавов. – Патент РФ на изобретение №2184801 от 10.07.2002 г.
22. Галанин С.И. Способ обработки отливок из сплавов на основе золота / С.И. Галанин, М.В. Сорокина, А.Ю. Токмаков. – Патент РФ № 2284381 от 27.09.2006 г.
23. Галанин С.И. Способ электрохимического полирования металлов и сплавов импульсами тока / С.И. Галанин, А.С. Галанина, И.В. Калинин. – Патент РФ на изобретение №2361019 от 10.07.2009 г.
24. Галанин С.И. Способ электрохимического полирования поверхности серебра / С.И. Галанин, Е.П. Гришина, О.А. Иванова. – Патент РФ на изобретение №2233353 от 27.07.2004 г.
25. Галанин С.И. Способ электрохимического полирования серебра и его сплавов импульсным током / С.И. Галанин, Е.П. Гришина, О.А. Иванова. – Патент РФ на изобретение №2227818 от 27.04.2004 г.
26. Галанин С.И. Способ электрохимического полирования сплавов на основе золота импульсным биполярным током. – Патент РФ на изобретение № 2288978 от 10.12.2006 г.
27. Галанин С.И. Теория и практика анодной электрохимической обработки короткими импульсами тока: дисс. ... д-ра техн. наук / С.И. Галанин. – Кострома, 2001. – 287 с.
28. Галанин С.И. Технологические особенности электрохимического полирова-ния сплавов золота импульсными токами / С.И. Галанин, И.В. Калинин // Электронная обработка материалов, 2009, №2. – С.9–18.
29. Галанин С.И. Химическое и электрохимическое гравирование поверхности титанового сплава ОТ4–1 / С.И. Галанин, Л.В. Попова, Ю.П. Евграфова, С.А. Соков // Вестник КГТУ. Кострома: изд-во КГТУ, 2009, №20. – С.14–17.
30. Галанин С.И. Химическое и электрохимическое травление (текстурирова-ние) поверхности меди / С.И. Галанин, А.Ю. Худобина // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. М.: МГУПИ, 2010, вып. 5. – С.51–85. (режим доступа: <http://www.enidtp.ru>).
31. Галанин С.И. Электрохимическая обработка металлов и сплавов микросекундными импульсами тока. Кострома: изд-во КГТУ, 2001. – 118 с.
32. Галанин С.И. Электрохимическое полирование поверхности латуней импульсными биполярными токами / С.И. Галанин, В.О. Агафонов // Дизайн. Материалы. Технология, 2007, №2(3). – С.84–87.
33. Галанин С.И. Электрохимическое полирование поверхности сплава ЗлСрМ 585–80 импульсами биполярного тока / С.И. Галанин, С.В. Успенский // Металлообработка, 2005, №2(26). – С. 10–13.
34. Галанин С.И. Электрохимическое полирование сплава серебра СрМ925 импульсным током / С.И. Галанин, А.В. Чекотин, М.В. Никонова // Журнал прикладной химии, 2001, т. 74, вып. 10. – С. 1633–1635.

35. Галанин С.И. Электрохимическое полирование ювелирных сплавов золота импульсами биполярного тока / С.И. Галанин, М.В. Сорокина, А.С. Галанина // Физика и химия обработки материалов, 2007, №5, с. 67–71.

36. Галанин С.И. Электрохимическое текстурирование поверхности ювелирных сплавов золота импульсными токами / С.И. Галанин, А.С. Галанина // В сб.: М–лы 3 МНТК «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей»: Кострома–Москва, 2010. – С.5–6.

37. Галанин С.И. Электрохимическое формирование декоративных цветных пленок на поверхности сплава серебра SrM925 при использовании импульсных токов / С.И. Галанин, О.А. Иванова // Сб. науч. тр. молодых учёных КГТУ: Кострома, КГТУ. – 2003. – с. 203–205.

38. Галанин С.И. Эффективность различных процессов полирования поверхности ювелирных изделий из сплава золота 585 пробы / С.И. Галанин, Д.Н. Субботин, М.В. Сорокина, А.Ю. Токмаков // Металлообработка, 2006, №4. – С.20–25.

39. Галанин С.И. Эффективность сглаживания высоты микронеровностей поверхности меди и медных сплавов в условиях электрохимической обработки короткими импульсами тока / С.И. Галанин, Т.В. Лебедева // Известия вузов: химия и химическая технология, 2004. – т. 47, вып.7. – С. 28–32.

40. Галанин С.И. Ювелирный бренд, технология и материалы: есть ли связь / С.И. Галанин, К.Н. Колупаев // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. М.: МГУПИ, 2010, вып. 5. – С.114–126. (Режим доступа: <http://www.enidtp.ru>).

41. Гой М.В. Дизайн ювелирных изделий из золотых сплавов 585 пробы различной цветовой палитры: дисс. ... канд. техн. наук / М.В. Гой. – Москва, 2009. – 103 с.

42. Калинин И.В. Повышение качества поверхности сплавов золота 585 пробы электрохимическим полирование биполярными импульсами тока: дисс. ... канд. техн. наук / И.В. Калинин. – Кострома, 2010. – 161 с.

43. Корти К.В. Специальные цвета золота. Цветные интерметаллические соединения / К.В. Корти: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://master-splav.ru/stati/yuvelirnyie-metallyi/spetsialnyie-tsveta-zolota.-chast-1-7.html>.

44. Лебедева Т.В. Совершенствование дизайна изделий из меди и медных сплавов с использованием импульсной электрохимической обработки их поверхности: дисс. ... канд. техн. наук / Т.В. Лебедева. – Кострома, 2002. – 105 с.

45. Макшанчиков И.А. Совершенствование дизайна изделий из алюминия окрашиванием его оксидных покрытий: дисс. ... канд. техн. наук / И.А. Макшанчиков. – Кострома, 2006. – 102 с.
46. Система шлифовки и полировки серебра PMG: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.otecru.com>.
48. Сорокина М.В. Дизайн ювелирных изделий из сплава ЗлСрМ 58,5–8 на основе совершенствования финишной обработки их поверхности: дисс. ... канд. техн. наук / М.В. Сорокина. – Кострома, 2009. – 149 с.
49. Фачченда В. Справочник по финишной обработке в производстве ювелирных изделий из золота. Пер. с англ. / В. Фачченда. – Омск: из-во «Дедал–Пресс», 2007. – 59 с.
50. Халилов И.Х. Гальванотехника для ювелиров / И.Х. Халилов. Саратов: из-во Саратовского университета, 2003. – 60 с.
51. Шорохов С.А. Формообразование поверхности пластинчатых галев ткацких станков электрохимической обработкой с использованием микросекундных импульсов тока: дисс. ... канд. техн. наук / С.А. Шорохов. – Кострома, 2000. – 159 с.
52. Galanin S.I. Features of current distribution with the use of titanium suspensions for the electrochemical polishing of gold by bipolar current pulses / S.I. Galanin, I.V. Kalinnikov, A.S. Galanina // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2009, Vol. 45, № 3. – P.35–41.
53. Galanin S.I. Technological Features of Electrochemical Polishing of Gold Alloys by Pulse Current / S.I. Galanin, A.S. Galanina, I.V. Kalinnikov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2009, Vol. 45, № 2. – P.85–92.