

УДК 669.017:621.352

СКВОЗНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ МЕДИ

Галанин С.И., Смирнов А.О.

(Костромской государственный технологический университет)

Исследован процесс сквозного электрохимического фрезерования тонких медных пластин. Предложены технологические рекомендации по его осуществлению.

Ключевые слова: *электрохимическая обработка, сквозное фрезерование.*

Введение

Современный дизайн ювелирно-художественных изделий немислим без использования сложнопрофилированных поверхностей. Часто в изделиях, выполненных из тонкого листового материала, необходимо выфрезеровать сквозные фигурные отверстия, представляющие собой надписи или рисунки. Наиболее прогрессивным методом получения таких отверстий является использование ОКГ (лазеров). Однако лазерное оборудование достаточно дорого и не всегда доступно.

Альтернативой лазеру может являться электрохимическое фрезерование сквозных рисунков по трафарету, позволяющее при минимальных затратах получать качественный результат. Данная работа посвящена выработке технологических рекомендаций по проведению процесса формирования сквозных фигурных декоративных отверстий методом электрохимического фрезерования на меди.

Методика проведения эксперимента

Использовались образцы размером 30×50×2 мм (или другой толщины, оговоренной специально) из меди марки М1, прокатанные и подверг-

нутые рекристаллизационному отжигу. Поверхность образцов обрабатывалась связанным абразивом (шкурка №320), затем обклеивалась клейкой ПВХ лентой («скотч»), в которой скальпелем прорезался необходимый рисунок. Непосредственно перед травлением незакрытая лентой поверхность обезжиривалась ацетоном. Для обработки использовалась стационарная ванна из полипропилена. Травление проводилось при комнатной температуре в электролитах следующих составов:

1) HNO_3 (конц.) – 10 мл; H_2O – 990 мл;

2) $NaNO_3$ – 180 г/л; H_2O – 1000 мл.

Составы электролитов заимствованы из литературы [1-19]. Для их приготовления использовались химические реактивы марки ХЧ или Ч, дистиллированная вода. Для обработки в первом электролите использовался стандартный источник постоянного тока, во втором импульсный источник питания, формирующий на ванне непрерывную последовательность прямоугольных импульсов тока регулируемых амплитудно-временных параметров. В экспериментах 1–5 образцы протравливались на определённую глубину, в других – насквозь.

Поверхность обработанных образцов фотографировалась на микроскопе ММУ с увеличением $\times 10$.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Обработка в электролите 1

1. Продолжительность обработки $\tau = 5$ мин, анодная плотность тока $i = 9,3 \text{ А/см}^2$. Вытравливался прямоугольник размером 2×8 мм.

Травление не равномерное, острые углы скругляются, из-за бурного выделения газа на месте обработки металл начинает травиться под защитной плёнкой. Съём металла по глубине составил 0,3 мм в центре прямоугольника, 0,6 мм по краям (рис. 1).

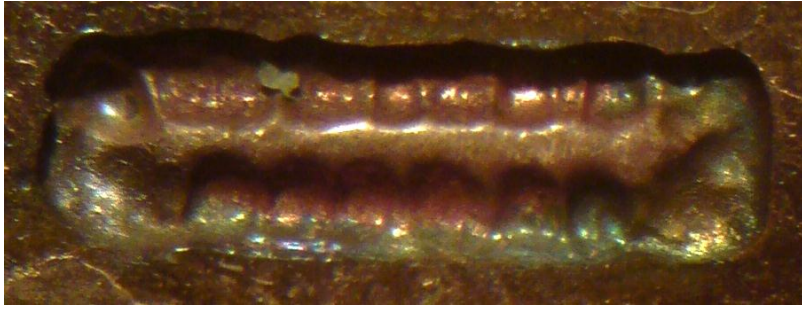


Рис. 1. Результат вытравливания прямоугольника размером 2×8 мм в электролите 1, эксперимент 1

2. Вытравливался прямоугольник размером 7×6 мм. Продолжительность обработки $\tau = 5$ мин, плотность тока $i = 2,3 \text{ A/cm}^2$.

Так же, как на режиме 1, травление неравномерное, острые углы скругляются, из-за бурного выделения газа металл начинает травиться под защитной плёнкой. Съём металла по глубине $0,4$ мм в центре прямоугольника, $0,7$ мм по его краям (рис. 2).



Рис. 2. Результат травления прямоугольника размером 7×6 мм в электролите 1, эксперимент 2

3. Вытравливался треугольник размером $10 \times 10 \times 2$ мм и стилизованный ромб с диагоналями 9×5 мм: $\tau = 5$ мин, $i = 11 \text{ A/cm}^2$.

Вытравливание ромба равномерное, острые углы скруглились. Из-за бурного газовыделения при обработке металл начал травиться под защитной плёнкой. Треугольник из-за небольшой ширины протравился равномерно, но травление началось и под плёнкой, поэтому углы скруглились.

Съём металла по глубине 0,7 мм в треугольнике; 0,7 мм по краям и 0,4 мм в центре ромба (рис. 3).

Рис. 3. Результат вытравливания
треугольника размером $10 \times 10 \times 2$ мм
и ромба с диагоналями 9×5 мм
в электролите 1, эксперимент 3



4. Вытравливался рисунок «рыбка ()» длиной 8 мм, «полурыбка (J)» длиной 7 мм, треугольник размерами $10 \times 10 \times 2$ мм: $\tau = 2,5$ мин, $i = 16$ А/см².

Вытравливание равномерное, но острые углы скруглились, металл начал травиться под защитной плёнкой. Съём металла по глубине 1 мм на всех рисунках (рис. 4).



Рис. 4. Результат вытравливания
треугольника размером $10 \times 10 \times 2$
мм,
«рыбки ()» длиной 8 мм,
«полурыбки (J)» длиной 7 мм
в электролите 1, эксперимент 4

5. Вытравливались две «рыбки» – длиной 2 и 7 мм: $\tau = 2$ мин, $i = 25$ А/см².

Травление равномерное, острые углы сохранились, границы чёткие. Съём металла по глубине составил 0,5 мм на обоих рисунках (рис. 5).



Рис. 5. Результат вытравливания рисунков «рыбка ()» длиной 2 мм и 7 мм в электролите 1, эксперимент 5

6. Сквозное протравливание (электрохимическое фрезерование) образца толщиной 1 мм: $\tau = 6,5$ мин, $i = 16$ А/см².

В результате обработки углы окон скруглились, границы ровные, стенки перпендикулярны поверхности образца (рис. 6).



Рис. 6. Результат сквозного травления окон в образце толщиной 1 мм в электролите 1, эксперимент 6

7. Сквозное травление образца толщиной 0,4 мм: $\tau = 2$ мин, $i = 22$ А/см².

В результате обработки произошло незначительное скругление углов, границы окна ровные, стенки перпендикулярны поверхности (рис. 7).



Рис. 7. Результат сквозного травления окна в образце толщиной 0,4 мм в электролите 1, эксперимент 7

8. Сквозное травление заготовки толщиной 0,4 мм: $\tau = 2$ мин, $i = 20$ А/см².

Скругление углов, по сравнению с экспериментом 7, уменьшено, границы окна стали ровнее, стенки перпендикулярны поверхности (рис. 8).

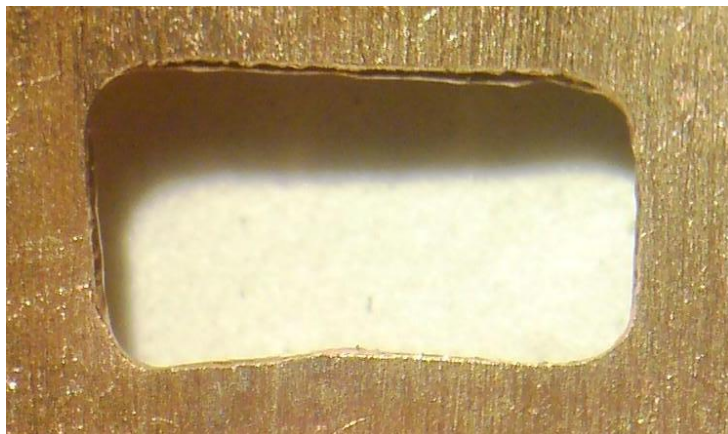


Рис. 8. Результат сквозного травления окна в образце толщиной 0,4 мм в электролите 1, эксперимент 8

9. Сквозное травление образца толщиной 0,4 мм: $\tau = 30$ с, $i = 26$ А/см².

Углы незначительно скруглились, границы окна ровные, стенки перпендикулярны. Сквозное травление наблюдается не по всей площади окна (продолжительность обработки необходимо увеличить на 10–15 с) (рис. 9).

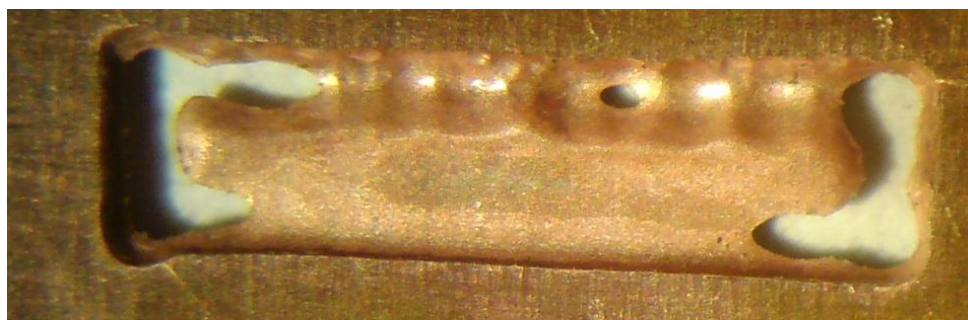


Рис. 9. Результат сквозного травления окна в образце толщиной 0,4 мм в электролите 1, эксперимент 9

10. Сквозное травление образца толщиной 0,4 мм: $\tau = 45$ с, $i = 22$ А/см².

Углы немного скруглились, границы окна ровные, стенки перпендикулярны (рис. 10).

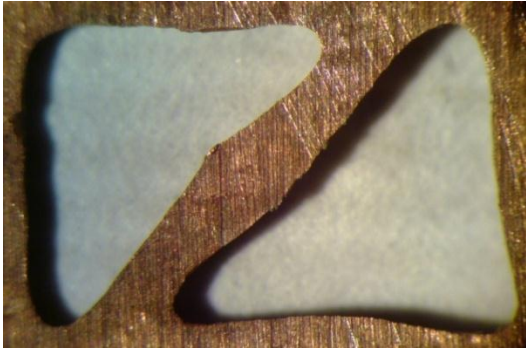


Рис. 10. Результат сквозного травления окна в образце толщиной 0,4 мм в электролите 1, эксперимент 10

11. Сквозное травление образца толщиной 0,4 мм: $\tau = 30$ с, $i = 25$ А/см².

Углы немного скруглились, границы окна ровные, стенки перпендикулярны. По границам окна наблюдаются не протравленные участки (продолжительность обработки необходимо увеличить на 5–10 с) (рис. 11).

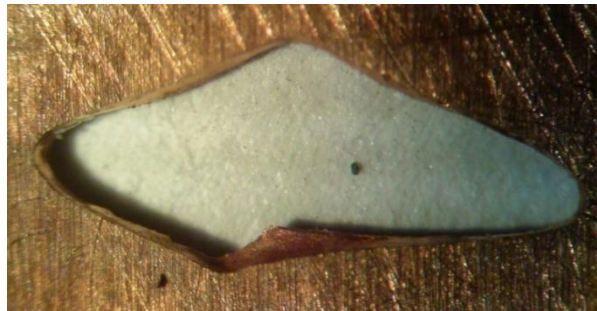


Рис. 11. Результат сквозного травления окна в образце толщиной 0,4 мм в электролите 1, эксперимент 11

12. Сквозное травление образца толщиной 0,4 мм: $\tau = 25$ с, $i = 25$ А/см², затем травление продолжается 35 с при плотности тока 2,5 А/см².

Уменьшилось скругление углов (по сравнению с экспериментом 11), границы окна ровные, стенки перпендикулярны (рис. 12).



Рис. 12. Результат сквозного травления окна в образце толщиной 0,4 мм в электролите 1, эксперимент 12

13. Сквозное травление образца толщиной 0,4 мм: $\tau = 30$ с, $i = 22$ А/см², затем 35 с при 2,2 А/см².

Достигнуто минимальное скругление углов сформированного окна, границы ровные, стенки перпендикулярны поверхности образца (рис. 13).



Рис. 13. Результат сквозного травления окна в образце толщиной 0,4 мм в электролите 1, эксперимент 13

Обработка в электролите 2

14. Вытравливался квадрат размером 10×10 мм: $\tau = 3$ мин, $i = 5,7$ А/см².

Травление неравномерное, острые углы немного скруглились, из-за бурного газовыделения металл начал травиться под защитной плёнкой. Съём металла составил 0,2 мм в центре квадрата, 0,5 мм по краям (рис. 14).

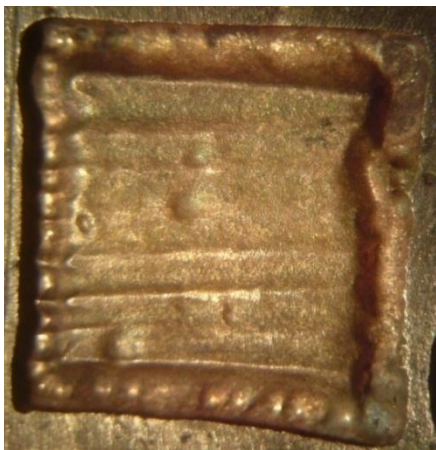


Рис. 14. Результат вытравливания квадрата размером 10×10 мм в электролите 2, эксперимент 14

15. Вытравливался квадрат размером 10×10 мм: $\tau = 15$ мин, $i = 3,43$ А/см².

Результат аналогичен, полученному в эксперименте 14. Съём металла составил 1 мм в центре квадрата, 1,6 мм по краям (рис.15).

Рис. 1.15. Результат вытравливания
квадрата размером 10×10 мм
в электролите 2, эксперимент 15



Выводы и рекомендации

Сквозное травление (электрохимическое фрезерование) окон сложной формы в образцах толщиной 0,4 мм целесообразно проводить в электролите 1 (HNO_3 (конц.) – 10 мл; H_2O – 990 мл) при комнатной температуре при следующем режиме:

продолжительность травления $\tau = 30$ с при плотности тока $i = 22$ А/см², затем 35 с при плотности тока 2,2 А/см².

Формируется сквозной рисунок без острых углов, с ровными границами рисунка без существенного подтравливания под защитное покрытие из липкой ПВХ ленты «скоч», с перпендикулярными поверхностями стенками.

Библиографический список

1. Галанин С.И. Дизайн ювелирно-художественных изделий с использованием электрохимической отделки поверхности металлов импульсными токами: монография/ С.И. Галанин. – Кострома: Изд-во КГТУ, 2008. – 173 с.
2. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов / С.Я. Грилихес. – Под ред. Вячеславова П.М. – Изд.5-е, провер. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1983. – 101 с.
3. Лайнер В.И. Электролитическая полировка и травление металлов. – М.: Машгиз, 1947. – 248 с.

4. Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов /М.В.Щербак, М.А.Толстая, А.П.Анисимов, В.Х. Постановов. – М.: Машиностроение, 1981. – 263 с.

5. Современные технологии авиастроения / Коллектив авторов; Под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.

6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://library.krasu.ru/>.

7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tlp.of.by/109-chara/teorija/spez-vidi-litja/170-tehnologii-litya-metallov.html>.

8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.coolreferat.com>.

9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studentbank.ru/>.

10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://techno.x51.ru/>.

11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://student.km.ru/>.

12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://modern-machines.com/speczialnye/elektrofizicheskie/elektroimpulsnaya-obrabotka/90>.

13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://modern-machines.com/speczialnye/elektrofizicheskie/elektrokontaktnaya-obrabotka/91>.

14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lazeropt.ru/>.

15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hammering.su/travlenie-metalla>.

16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.

17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jeweler2.ru/index.php>.

18. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://j-master.ru/>.

19. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.slav-med.ru/>.