



УДК 621.77

Поступила 31.07.2015

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АНОДНЫХ ШАРОВ DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ANODE BALL PRODUCTION

Г. В. КОЖЕВНИКОВА, Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

G. V. KOZHEVNIKOVA, Physical and Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Разработана технология производства медных анодных шаров методом поперечно-клиновой прокатки. Технология обеспечивает требования к анодным шарам по кристаллическому строению, форме и точности геометрических размеров.

Technology of copper anode balls manufacturing by means of cross-wedge rolling method is developed. The technology satisfies the requirements towards anode balls' crystalline structure, form and geometrical dimensions accuracy.

Ключевые слова. Медные анодные шары, непрерывное литье, пластическое деформирование, структура меди.

Keywords. Copper anode balls, continuous casting, plastic deformation, copper structure.

В данный момент медные анодные шары для электронной промышленности производятся в Корее, Японии, США, Финляндии. Формообразование шаров из Японии, Кореи и США осуществляется штамповкой на прессах, шаров из Финляндии – холодной поперечной прокаткой в винтовых калибрах. Геометрическая форма этих шаров отличается от сферической. После деформации шары из Японии подвергаются отжигу и обладают невысокой твердостью (табл. 1), что повысило их химическую растворимость и, как следствие, улучшило качество гальванических покрытий. Лучшими по качеству считаются шары, производимые в Японии. Шары из США и Финляндии не подвергаются отжигу, чем можно объяснить их высокую твердость и худшие эксплуатационные показатели. Размеры зерна шаров, производимых в Японии, составляют от 15 до 70 мкм.

Таблица 1. Технические характеристики медных анодных шаров производства Японии, США, Финляндии

| Страна изготовления | Твердость по Бринеллю НВ | Размеры зерна, мкм | Преобладающий размер зерна, мкм |
|---------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Япония | 59 | 15–70 | 20 |
| США | 131 | 7–60 | 30 |
| Финляндия | 110 | 95–300 | 190 |

В ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» разработана технология поперечно-клиновой прокатки (ПКП) шаров из меди. Предполагается использовать процесс непрерывного литья медных прутков из отходов производства, разработанный в ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», для получения заготовок для медных анодных шаров для нанесения гальванического покрытия [1]. Химический состав полученных прутков анодной меди должен соответствовать содержанию элементов, приведенному в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав медных анодных шаров для нанесения гальванического покрытия

| Cu | Fe | S | Pb | Sb | Ni | As | P | O | Bi, Cd, Mn, Sn, Mg, Se, Te, Zn |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|--------------------------------|
| 99,94 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,04–0,07 | 0,001 | 0,001 |

Основными требованиями, предъявляемыми к медным анодам, являются химический состав, кристаллическое строение, форма (шары, цилиндрические полосы и т. д.), чистота поверхности, точность геометрических размеров [2].

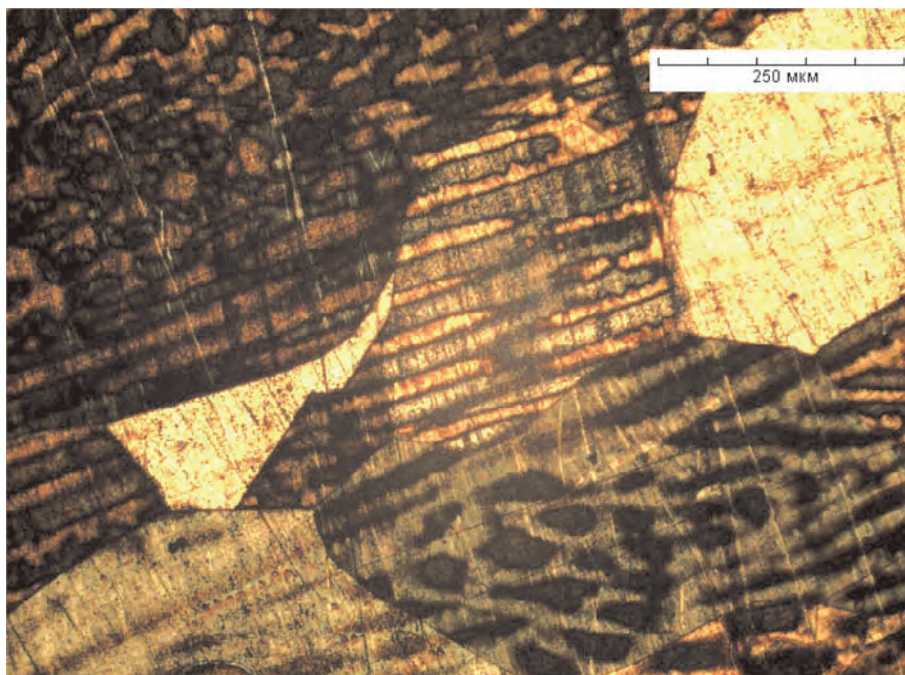


Рис. 1. Структура анодной меди после непрерывного литья (размеры зерен – от 500 до 1500 мкм, преобладающий размер зерна – 1000 мкм)



а

б

Рис. 2. Варианты осуществления новой технологии ПКП шаров из меди диаметром 45 мм

Для получения мелкозернистой структуры на стадии разлива планируется максимальное переохлаждение расплава меди в кристаллизаторе; перемещение образовавшегося слитка в систему вторичного охлаждения уже на втором-третьем этапе литья прутка (первый этап – охлаждение в кристаллизаторе).

Структура меди, полученной непрерывным литьем, имеет крупнокристаллическое строение, величина зерна 500–1500 мкм (рис. 1).

На рис. 2 показаны два варианта осуществления новой технологии ПКП шаров из меди диаметром 45 мм. В первом варианте (рис. 2, *а*) заготовку традиционно получают из медного прутка рубкой и поштучно подают в стан ПКП. Формообразование шаров происходит путем перераспределения металла вдоль оси заготовки движущимся поперек оси плоским клиновым инструментом [3, 4]. На заключительной стадии ПКП происходит отрезка концевых отходов отрезными ножами инструмента.

Во втором варианте (рис. 2, *б*) в технологическую линию перед станом ПКП встраивается машина планетарного разделения конструкции ФТИ НАН Беларуси [5–7]. В машину подается медный пруток. Двумя валками, совершающими планетарное вращение, в процессе пластического деформирования отрезается мерная цилиндрическая заготовка, имеющая конические торцы. Пруток при этом не вращается, вследствие чего нет ограничений по его длине и кривизне. Затем на стане ПКП выполняется операция пластического формообразования. При этом металл торцевых конусов заполняет объем утяжины, кото-



Рис. 3. Шары медные, полученные на стане ПКП

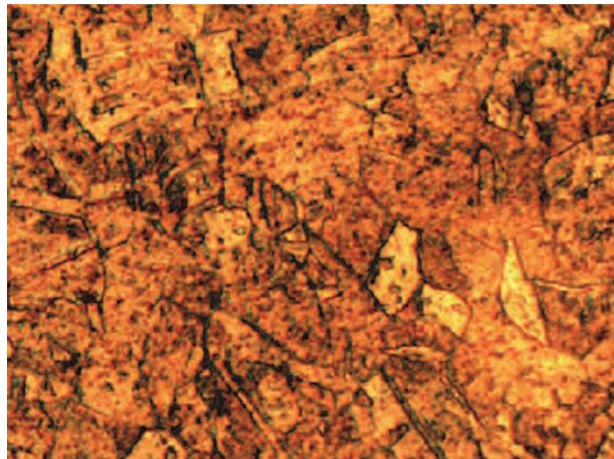


Рис. 4. Структура меди после деформации на 80 % и рекристаллизационного отжига (размеры зерен – 3–15 мкм, преобладающий размер зерна – 7 мкм)

рая образовалась бы при традиционной прокатке заготовки с плоскими торцами (рис. 2, а). Второй вариант обеспечивает значительное уменьшение объема концевых отходов, что соответственно увеличивает коэффициент использования металла и позволяет работать прямо от прутка без существенных ограничений по его длине и кривизне.

Объем производства анодных шаров на стане ПКП (рис. 3) при одновременной прокатке четырех шаров обеспечивает производство на нем до 2000 т шаров в год.

Используемый процесс непрерывного литья медных прутков из отходов производства для получения заготовок для медных анодных шаров обеспечивает требования к анодным шарам по химическому составу, но структура меди, полученной непрерывным литьем, имеет крупнокристаллическое строение (см. рис. 1). Проведено исследование влияния пластического деформирования [8–10] на структурообразование меди с целью прогнозирования эксплуатационных характеристик изделий за счет создания оптимальных схем пластического деформирования меди, полученной непрерывным литьем.

Пластическая деформация отлитой меди осуществлена двумя вариантами: на трехвалковом стане винтовой прокатки и равноканальным угловым прессованием (РКУ).

Трехвалковый стан винтовой прокатки обеспечивает уменьшение диаметра отлитого слитка и соответственно увеличение длины. Пластическая деформация литого образца вносит дефекты в кристаллическую решетку меди и при последующем отжиге происходит рекристаллизация зерен с уменьшением их размера.

Величину накопленной пластической деформации определяет степень деформации сдвига Λ . Для прокатки степень деформации сдвига определяется по формуле [2]:

$$\Lambda = 2\sqrt{3} \ln \frac{d_0}{d_1}, \quad (1)$$

где d_0 , d_1 – соответственно диаметр слитка до и после прокатки, мм.

Структура анодной меди после прокатки с обжатием 80% и последующим рекристаллизационным отжигом показана на рис. 4. Размеры зерна в этом случае находятся в диапазоне 3–15 мкм.

Равноканальное угловое прессование – технология, сейчас известная в мире под названием ЕСАР, заключается в продавливании образца из одного канала в другой равного сечения и расположенного к первому под углом в пределах от 90 до 180°. Этот процесс обеспечивает пластическую деформацию без изменения диаметра отлитого прутка. Возможно многократное продавливание прутка через устройство прессования с суммированием деформации за каждый цикл нагружения. Так, один цикл нагружения обеспечивает степень деформации 68%, два цикла нагружения – 90%.

По плоскости стыка каналов в образце происходит сдвиг, степень деформации которого равна [2]:

$$\Lambda = 2 \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}, \quad (2)$$

где φ – угол между каналами.

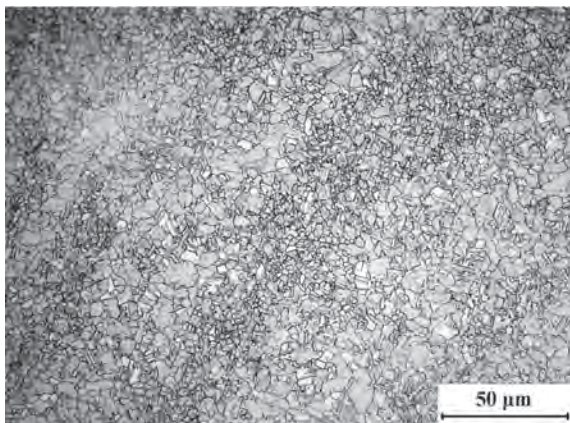


Рис. 5. Структура анодной меди после восьми циклов равноканального углового прессования и отжига ($\Lambda = 16$) (размеры зерен – 1–12 мкм, преобладающий размер зерна – 5 мкм)

При деформировании РКУ литой меди цилиндрический образец продавливали из одного цилиндрического канала в другой цилиндрический канал того же диаметра, расположенный под углом 90° к первому. За один цикл при $\varphi = 90^\circ$ образец, не меняя своего сечения, накапливал деформацию $\Lambda = 2$.

Структура анодной меди после восьми циклов РКУ и отжига ($\Lambda = 16$) показана на рис. 5. Размеры зерна в этом случае находятся в диапазоне 1–12 мкм.

По данным исследования, построена зависимость размеров зерна после холодной пластической деформации и последующим рекристаллизационным отжигом от степени деформации (рис. 6). Получение зерна размером 7–35 мкм достигается после деформации 77% или двух циклов РКУ (что соответствует степени деформации 90%). На рис. 7 показана полученная зависимость размеров зерна непрерывнолитой меди после холодной пластической деформации с последующим рекристаллизационным отжигом от накопленной деформации.

Зависимость размеров зерна от накопленных деформаций (обжатия $\delta\%$) может быть аппроксимирована выражением:

$$\ln A = B - n \ln (\delta\%), \quad (3)$$

где A – размер зерна, мкм; B , n – постоянные величины для каждого материала, для анодной меди $B = 14,73$, $n = 2,76$.

Формула справедлива при обжатиях от 20 до 80%.

Таким образом, создание оптимальных схем пластического деформирования меди, полученной непрерывным литьем, позволяет управлять структурообразованием меди и получать структуры, определяющие высокие эксплуатационные характеристики изготавливаемых изделий. Разработанная технология производства медных анодных шаров методом ПКП обеспечивает требования к анодным шарам по кристаллическому строению, форме и точности геометрических размеров.

Литература

1. Марукович Е. И., Маточкин В. А., Чудаков С. Р., Брановицкий А. М. и др. Непрерывное литье медных анодов для нанесения гальванического покрытия при производстве металлокорда // *Литье и металлургия*. 2006. № 3. С. 67–72.
2. Kozhevnikova G. Cross-wedge rolling. Minsk: Belorusskaya nauka, 2012. 321 с.
3. Щукин В. Я. Основы поперечно-клиновой прокатки. Минск: Наука и техника, 1986. 223 с.
4. Кожевникова Г. В. Условия устойчивого протекания поперечной и поперечно-клиновой прокаток // *Вест. Белорус.-Рос. ун-та*. 2009. № 1 (22). С. 44–53.

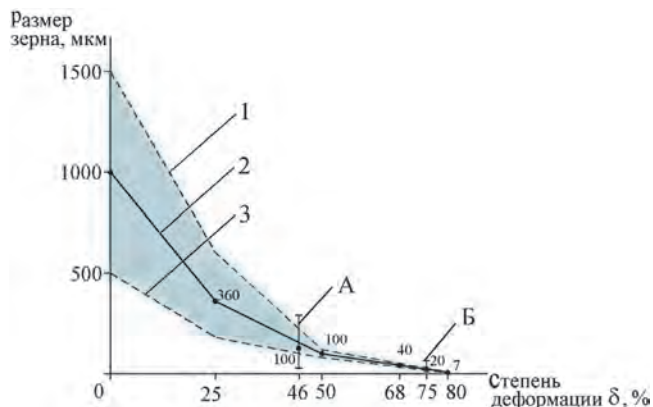


Рис. 6. Зависимость размеров зерна анодной меди от пластической деформации с последующим рекристаллизационным отжигом: 1 – максимальный размер зерна; 2 – преобладающий размер зерна; 3 – минимальный размер зерна; А – горячая деформация на 46% без отжига; Б – горячая деформация на 75% без отжига

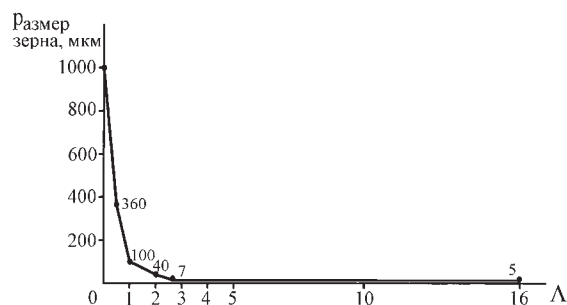


Рис. 7. Зависимость размеров зерна анодной меди от предельной степени деформации сдвига Λ

5. Кожевникова Г. В. Теория и практика поперечно-клиновой прокатки. Минск: Беларуская навука, 2010. 291 с.
6. Щукин В. Я., Кожевникова Г. В., Рудович А. О. Новое в поперечно-клиновой прокатке // Кузнечно-штамповочное производство. 1999. № 3. С. 35–37.
7. Shchukin V. Y., Kozhevnikova G. V., Petrenko V. V. Cross-wedge rolling at PTI NAS Belarus // *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 201–202. P. 1198–1202.
8. Кожевникова Г. В. Построение эпюр контактных напряжений на границе инструмент–заготовка при поперечной прокатке // Трение и износ. 2005. Т. 26, № 1. С. 94–99.
9. Клущин В. А., Макушок Е. М., Щукин В. Я. / Под ред. В. В. Клубовича. Совершенствование поперечно-клиновой прокатки. Минск: Наука и техника, 1980. 280 с.
10. Кожевникова Г. В. Исследование кинематики течения металла при поперечно-клиновой прокатке с использованием компьютерного моделирования // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2013. № 1. С. 47–53.

References

1. Marukovich E. I., Matochkin V. A., Chudakov S. R., Branovickij A. M. i dr. Nepreryvnoe lit'e mednyh anodov dlja nanesenija gal'vanicheskogo pokrytija pri proizvodstve metallokorda [Cooper ball continuous casting for electrodeposited coating at metal cord production]. *Lit'e i metallurgija – Foundry production and metallurgy*, 2006, no. 3, pp. 67–72.
2. Kozhevnikova G. *Cross-wedge rolling*. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2012, 321 p.
3. Shchukin V. Y. *Osnovy poperechno-klinovoj prokatki* [Basics of Cross-Wedge Rolling]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1986. 223 p.
4. Kozhevnikova G. V. Usloviya ustojchivogo protekaniya poperechnoj i poperechno-klinovoj prokatok [Conditions of stable flow of cross rolling and cross-wedge rolling]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta – Bulletin of the Belarusian-Russian University*, 2009, no. 1 (22), pp. 44–53.
5. Kozhevnikova G. V. *Teorija i praktika poperechno-klinovoj prokatki* [Theory and practice of cross-wedge rolling]. Minsk, Belaruskaya nauka Publ., 2010, 291 p.
6. Shchukin V. Y., Kozhevnikova G. V., Rudovich A. O. Novoe v poperechno-klinovoj prokatke [News of cross-wedge rolling]. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo – Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 1999, no. 3, pp. 35–37.
7. Shchukin V. Y., Kozhevnikova G. V., Petrenko V. V. Cross-wedge rolling at PTI NAS Belarus. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, vol. 201–202, pp. 1198–1202.
8. Kozhevnikova G. V. Postroenie jepjur kontaktnyh naprjazhenij na granice instrument–zagotovka pri poperechnoj prokatke [Construction of contact stress diagrams at the 'tool – billet' border at cross rolling]. *Trenie i iznos – Friction and Wear*, 2005, vol. 26, no. 1, pp. 94–99.
9. Klushin V. A., Makushok E. M., Shchukin V. Y. *Sovershenstvovanie poperechno-klinovoj prokatki* [Upgrading of cross-wedge rolling]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1980, 280 p.
10. Kozhevnikova G. V. Issledovanie kinematiki techenija metalla pri poperechno-klinovoj prokatke s ispol'zovaniem komp'juternogo modelirovanija [Study of kinematics of metal flow at cross-wedge rolling with the help of computer simulation]. *Vesci Natsionalнай akademii nauk Belarusi. – Seria fizika-tekhicheskich nauk – Proceedings of National Academy of Sciences of Belarus, Seriya Physical and Technical Sciences*, 2013, no. 1, pp. 47–53.

Сведения об авторе

Кожевникова Гражина Валерьевна, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории предельной деформируемости ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси». Ул. Купревича, 10, Минск, Республика Беларусь, fti@tut.by, тел. +375 17 2635972, +375 29 6648309.

Information about the authors

Kozhevnikova Grazhina, Ph. D In Engineering, Senior Researcher of the Ultimate Deformation Laboratory of SSI «The Physical and Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus». Str. Kuprevich, 10, Minsk, Republic of Belarus, fti@tut.by, tel. +375 17 2635972, +375 29 6648309.