

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕДИ

Ши Кунь, Сюй Шупэн, Ларионов В.В.

Научный руководитель: профессор–доктор В.В. Ларионов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: lvv@tpu.ru

EFFECT OF HYDROGEN AND OXYGEN ON CONDUCTIVITY OF COPPER

Kun Shi, Shupeng Xu, V.V. Larionov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.V. Larionov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: lvv@tpu.ru

Annotation. Investigated the variation of the electrical DC and eddy current (magnetic spectrometer (ACI)). Copper structure essentially depends on the production method of copper. For example, a composite material consisting of a matrix of copper and copper oxide particles. For the analysis of copper use different methods of control. The electrical conductivity is susceptibility parameter on the structure. Measurement of the properties of copper eddy currents when restructuring has advantages. In this work, the conductivity measurement is compared with a copper X-ray studies, with its microhardness defect density calculations with copper, which is made of oxygen and hydrogen. This provides information about changes in the structure of copper eddy current measurements. It is shown that the amount of active, reactive component and the phase relationship of the eddy currents greatly depends on the position of grains, pores and other defects, which allows the use of eddy for line control products, used in traditional methods of control hard to reach places. Information about the scattering power of defect scattering mechanism at different depths samples obtained through the use of currents of different frequencies. The values of the eddy currents depends on the amount of copper vacancies high-angle grain boundaries, dislocations, and low-angle and high angle boundaries. Change in the electrical conductivity of copper containing oxygen and hydrogen is compared with its structure. Studies of X-ray, microhardness, calculate the density of defects, compared with the change in the structure of copper on measurements of eddy currents. All measurements are compared by MSA with other methods: optical Olympus GX-71 and REM-125K electron microscopes, X-ray (diffractometer Shimadzu XRD-7000S) spectra of GD-Profilier. Highlight specific influence of some elements (N, O, H, etc.) Such comparisons are possible, since the eddy current penetration depth is a function of frequency. In this paper are examples of defects as pores, copper oxides as inclusions in the structure.

Поиск оперативных неразрушающих методов контроля необходимы как на стадии производства медных заготовок, так и в условиях их применения. Часто медь представляет собой композиционный материал, состоящий из медной матрицы и частиц оксида меди [1]. В ряде случаев формируются ультрамелкозернистые нано- и субмикроструктурные структуры меди [2], где реализуется высокая плотность дислокаций, сосредоточенных в субграницах. Электропроводность σ является структурно чувствительным параметром, поэтому она широко используется при исследовании

процессов протекающих в меди при подготовке образцов [3]. Измерение свойств меди вихревыми токами (ВТ) в ходе структурной перестройки имеет преимущества. В отличие от постоянного тока, когда σ уменьшается при введении любых видов дефектов, ВТ реагируют на возмущения вблизи дефекта не только величиной активного сопротивления, но и реактивного, а иногда и величиной сдвига фаз [4]. При этом можно получить информацию о рассеивающей способности дефекта на разных глубинах образцов [4]. В меди вакансии и высокоугловые границы зерен, дислокации, малоугловые и высокоугловые границы могут вносить различный вклад в значения ВТ [4]. Целью настоящей работы являлось исследование изменение σ меди, содержащей кислород и водород в сопоставлении с ее структурой. Оценка проводилась по изменению σ на постоянном токе и ВТ на МСА, по исследованию рентгенограмм, микротвердости, расчетами плотности дефектов, и получения информации об изменении структуры меди по значениям ВТ. Для сопоставления применялись: оптический Olympus GX-71 и электронный ЭМ-125К микроскопы, дифрактометр Shimadzu XRD-7000S, спектрометр GD-Profilер. Поэтому можно выделить конкретное влияние ряда элементов (N, O, Hи др.) на электропроводность слоев металла. Такие сопоставления возможны, так как глубина проникновения ВТ является функцией частоты. Примеры дефектов показаны на рис. 1. Поэтому измерения ВТ проводили как вдоль поры, так и перпендикулярно ее расположению.

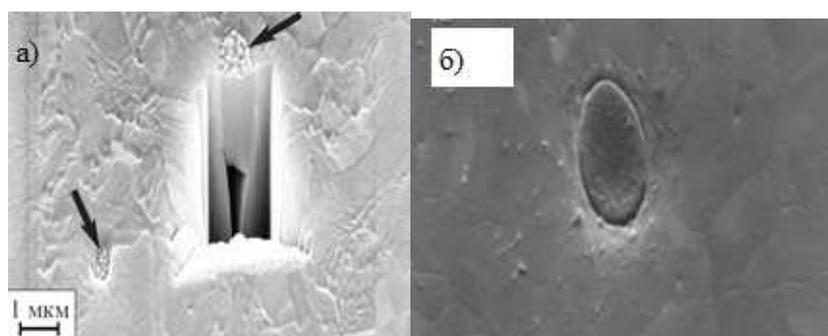


Рис. 1. Частицы оксидов меди 700 нм (стрелки) (а) и поры; оксид меди Cu_2O сечением 1 x 2 мкм (б) [5]

Таблица 1

Изменение содержания водорода и кислорода по глубине медного образца M01 (GD-Profilер, соотношение сигналов Cu/H; Cu/O)

Глубина, мкм	0	0.1	0.25	0.5	1.0	8.0	10.0
Cu/H	3.4	4.6	9.3	12.7	14.0	17.5	24.0
Cu/O	40.8	40.7	40.5	40.5	40.5	200	2000

Удельное сопротивление образца меди 0,0175906 мкОм*м изменяется на 10-15 %. Размеры зерен существенно влияют на физико-механические свойства меди, в частности, на его электросопротивление как по постоянному току, так и изменению вихревых токов (ВТ) в зависимости от частоты. Электросопротивление, отнесенное к единице плотности дислокаций $\Delta\rho_d/N_d$ сопротивление на единицу плотности дислокации ρ_d/N_d , удельное электросопротивление единицы плотности линейных дефектов ρ_l/N_L , сравнивали со значениями по формулам и таблицам из [3]. Плотность дислокаций N_d рассчитывали по данным таблицы 2 и по формуле из [7]: $N_d = \pi\beta^2 ctg^2\Theta/16b^2$, где β – уширение рентгеновских линий, обусловленное микродеформацией решетки, θ – угол, соответствующий

максимуму рентгеновської лінії, \mathbf{b} – вектор Бюргерса. По величині ρ_L / N_L і відстанню між лінійними дефектами, порівнювали зміну удільного електричного опору, вносимого границями зерен на одиницю їх щільності в одиницю об'єму кристала $\rho_G / N_G = \rho_L / N_L D$.

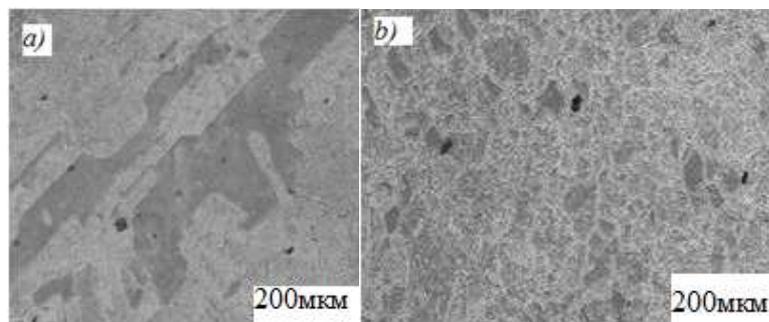


Рис. 2. Зображення мікроструктури зразка, не пройшовшого випробування за ГОСТ 24048-80 (а), пройшовшого випробування за ГОСТ 24048-80 (б)

Таблиця 2

Результати рентгенографічного дослідження зразків Сі

Назва зразка	Виявлені фази	Вміст фаз, об'єм. %	Вміст фаз, мас. %	Параметри ґратки	Розмір частинок за ОКР, нм	Мікронапруження
Cu+H_	Cu_cubic	100	100	a = 3.6171	96.28	0.000344
Cu+H_8	Cu_cubic	100	100	a = 3.6193	74.31	0.000463

Висновки. Дослідження зміни електричного опору на постійному і вихровому струмі (магнітним спектрометром (МСА)) порівняно з дослідженнями рентгенограмми міді, її мікротвердості, розрахунку щільності дефектів в міді, вносимих киснем і воднем, дозволяють отримати інформацію про зміну структури міді за вимірами ВТ. Величина активної, реактивної складової вихрових струмів суттєво залежить від положення зерен, пор і інших дефектів, що дозволяє використовувати ВТ для цілей оперативного контролю виробів, експлуатуваних в важкодоступних традиційними методами контролю, місцях.

Робота виконана при фінансовій підтримці Госзадання «Наука» 0.1325.2014.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Логинов Ю.Н., Демаков С.Л., Илларионов А.Г., Иванова М.А. Взаимодействие частиц оксида меди с медью в процессе волочения // *Металлы*. – № 6. – 2012 – С. 36–44.
2. Носкова Н.И., Мулюков Р.Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. – Екатеринбург, 2003. – УрО РАН. – 278 с.
3. Каролик А.С. Расчет термоэлектрических характеристик и электрического сопротивления границ зерен в одновалентных металлах // *ФММ*. – 1999. – Т. 88. – № 2. – С. 32–37.
4. Larionov V.V., Shupeng Xu, Kun Shi, Krening M.X. Effect of Hydrogen on Conductivity of Metals // *Advanced Materials Research Vol. 1084 (2015) pp. 21–25*.
5. Логинов Ю.Н., Демаков С.Л., Илларионов А.Г. и др. Возникновение пористых структур в кислородсодержащей меди при деформированном воздействии // *Физическая мезомеханика*. 2013. – 16, № 6. – С. 41–46.
6. Малыгин Д.Г., Корнеева В.В. Определение плотности дислокаций по рентгеновскому анализу микроискажений в поликристаллических материалах // *Вісник Харківського університету. Серія фізична*. – 2010. – Вип. 1. – № 887. – С. 115–117.