

УДК 676:621.9.042
DOI: 10.12737/22066

И. В. Терешко, В. А. Логвин, В. М. Терешко, С. А. Шептунов

МОДИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

Исследовано изменение электросопротивления медно-графитовых материалов и меди после обработки в тлеющем разряде. Установлено изменение механизмов проводимости в исследуемых образцах после модификации в тлеющем разряде.

Ключевые слова: модификация, глубина дислокационной структуры, плазма, тлеющий разряд.

I.V. Tereshko, V.A. Logvin, V.M. Tereshko, S.A. Sheptunov

MATERIAL MODIFICATION IN GLOW DISCHARGE

The development of new methods to improve physical and stress-strain properties of materials is an important contribution to the development of modern technologies and targeted control of their behavior. The optimum combination of stress-strain properties and electrical ones to improve performance attributes of materials is very important.

The basic purpose of this work is the study of long-term effects in materials resistivity changes after treatment in a glow discharge. There are presented the results of measurements of a resistivity relative value in copper-graphite insertions after a radiation treatment in a glow discharge. The graphic dependences obtained show that in the course of two years in samples a long-

lived state, a structure of irradiated composite material remains. It is a sign of that the improvement of performance attributes of insertions investigated bears long-term character.

An anomalous temperature dependence of electric resistance after an irradiation treatment if a glow discharge was detected in technical copper samples. First of all this anomaly manifests itself in copper resistivity decrease after an irradiation treatment at different temperatures obtained that is contrary to the fact determined of the simultaneous increase of dislocations density in samples irradiated.

Key words: modification, depth of dislocation structure, plasma, glow discharge.

Введение

Разработка новых способов улучшения физико-механических свойств материалов является важным вкладом в развитие современных технологий целенаправленного управления их поведением. Наиболее перспективным в этом направлении, как в научном, так и в прикладном плане, является создание в них многоуровневой дефектной структуры, в частности, формирование наноразмерных комплексов и кластеров воздействием потоков различных энергий на поверхность материалов и сплавов.

Считалось, что эффективная модификация материалов возможна только при высокой энергии бомбардирующих частиц и чем больше эта энергия, тем больше глубина структурированного слоя. Показано, что низкоэнергетическая бомбардировка ионами остаточных газов в тлеющем разряде (энергия ионов варьировалась в интервале 0,5-5 кэВ) образцов различных ме-

таллов и сплавов приводит к повышению дислокационной плотности на глубину, многократно превышающую величину проективного пробега ионов, что описано как «дальнодействующий эффект» [1-5]. Фактически это почти объемная модификация. Под действием потока низкоэнергетических ионов меняются физико-механические свойства поверхности облученного материала, такие как плотность дислокаций, электросопротивление, микротвёрдость, износостойкость и др.

Очевидно, что данное явление не может быть интерпретировано в рамках принятых теоретических моделей, имеющих в радиационной физике твердых тел. Для объяснения такой модификации материалов авторы [6] предлагают гипотезу, базирующуюся на идее возбуждения нелинейных колебаний в кристаллических решетках, которые приводят к действию самоорганизационных процессов в ионной

подсистеме облученных металлов и, как следствие, к образованию новых структурных коллективных состояний атомов кристаллических решеток на мезоуровне и наноуровне.

Особое внимание привлекает экспериментально установленный факт понижения электросопротивления металлов на фоне повышения их дефектности после низкоэнергетической ионно-плазменной обработки [7].

Очень важно для повышения эксплуатационных свойств материалов опти-

Методика исследований

Медно-графитовые вставки типа ВТКМГ, используемые в токосъемниках троллейбусов, облучались в тлеющем разряде в специально разработанной установке. Они подвергались облучению ионами остаточных газов в вакуумной камере (азот, кислород, водород и т.д.). Энергия ионов зависела от напряжения в электродах и не превышала 0,8 – 2,5 кэВ. Ток в катодной цепи не превышал 40-50

мального сочетание механических и электрических свойств. В особенности это относится к медно-графитовым вставкам, используемым в электротранспорте, которые работают в сложных условиях высоких механических и электрических нагрузок и перепадов температур.

Основная задача данной работы – изучение долговременных эффектов изменения электросопротивления материалов после обработки в тлеющем разряде.

мА. Барометрическое давление остаточных газов в вакуумной камере составляло 5 Па, доза облучения – $2 \cdot 10^{17}$ ион·см⁻². На образцах из меди МЗ исследовалась дислокационная структура методом электронной микроскопии.

Измерение электросопротивления образцов до и после облучения осуществлялось с помощью установки, Структурная схема которой приведена на рис. 1.

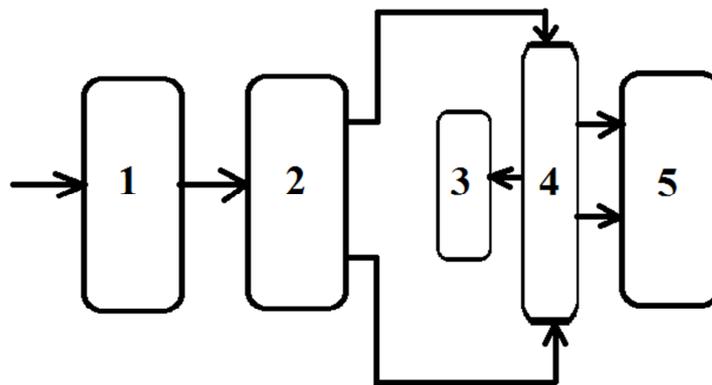


Рис. 1. Структурная схема установки:

1 – трансформатор; 2 – стабилизатор тока; 3 – прибор для измерения температуры; 4 – образец; 5 – милливольтметр

Метод исследования заключался в снятии температурной зависимости электросопротивления медно-графитовой вставки, через которую пропускался ста-

бильный ток. Схема разработана с соблюдением метрологических требований и обеспечивает хорошую точность и воспроизводимость результатов.

Результаты и их обсуждение

Электросопротивление композиционных материалов является величиной, зависящей от таких параметров, как состав, структура образца, степень его деформации. Поэтому измерение электросопротивления образцов, подвергнутых различным видам обработки, может стать высокоинформативным методом изучения свойств материалов, особенно если удастся связать изменение контролируемых механических свойств с изменением электросопротивления. Кинетика изменения электросопротивления при облучении низкоэнергетическими ионами является малоизученной областью. В особенности это

относится к долговременным изменениям электросопротивления после прекращения процесса облучения. Исследование проводилось с целью разработки методики неразрушающего контроля свойств медно-графитовых вставок на основе изучения температурной зависимости электросопротивления после облучения низкоэнергетическими ионами.

На рис. 2 представлены результаты измерения относительной величины электросопротивления медно-графитовых вставок после облучения в тлеющем разряде.

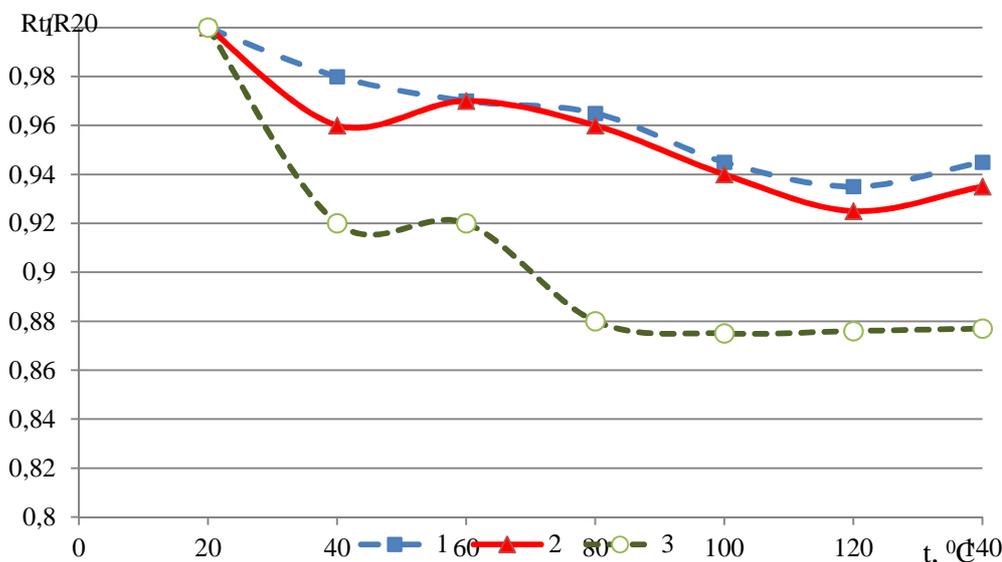


Рис. 2. Графическая зависимость относительной величины электросопротивления медно-графитовых вставок от температуры образцов: 1 – измерения, проведенные сразу после облучения образцов; 2 – измерения, проведенные через два года после прекращения облучения; 3 – необлученные вставки

Зависимость 1 отражает измерения относительной величины электросопротивления образцов, проведенное сразу после облучения образцов. Зависимость 2 соответствует измерениям, проведенным через два года после прекращения облучения на этих же образцах. Для сравнения зависимость 3 представляет изменения электросопротивления необлученных вставок из той же серии при изменении температуры. Видно, что электрическое сопротивление медно-графитовых вставок

уменьшается с повышением температуры. Однако после низкоэнергетического ионного облучения в тлеющем разряде электрическое сопротивление значительно возрастает и даже обнаруживает тенденцию к повышению с повышением температуры. Ход графика 2 показывает, что такая модификация в структуре медно-графитовой вставки сохраняется в течение достаточно большого времени и может быть связана с формированием новых долгоживущих структурных состояний, вызванных облу-

чением. Из сравнения с известными данными по температурной зависимости удельного сопротивления электролитического графита можно сделать вывод, что такая зависимость может наблюдаться только при высоких температурах (начиная с 800°C). Следовательно, низкоэнергетическое ионное воздействие приводит к аномальной температурной зависимости медно-графитовых вставок, если ориентироваться на чистый графит. Полученные графические зависимости показывают, что в образцах в течение двух лет сохраняется долгоживущее состояние, структура облученного композиционного материала. Это является признаком того, что улучшение эксплуатационных свойств исследуемых вставок носит долговременный характер.

Изучение долговременных эффектов является одним из этапов работы по созда-

нию методики улучшения эксплуатационных свойств изделий (после их изготовления и неразрушающего контроля этих свойств). Аномалию в температурной зависимости электрического сопротивления после облучения в тлеющем разряде обнаружили на образцах технической меди (рис. 3) [7]. Эта аномалия прежде всего проявляется в уменьшении электросопротивления меди после облучения при различных измеренных температурах, что противоречит, например, установленному факту одновременного повышения плотности дислокаций в облученных образцах (рис. 4).

На рис. 3 представлены графические зависимости электрического сопротивления технической меди от времени, прошедшего после облучения в тлеющем разряде.

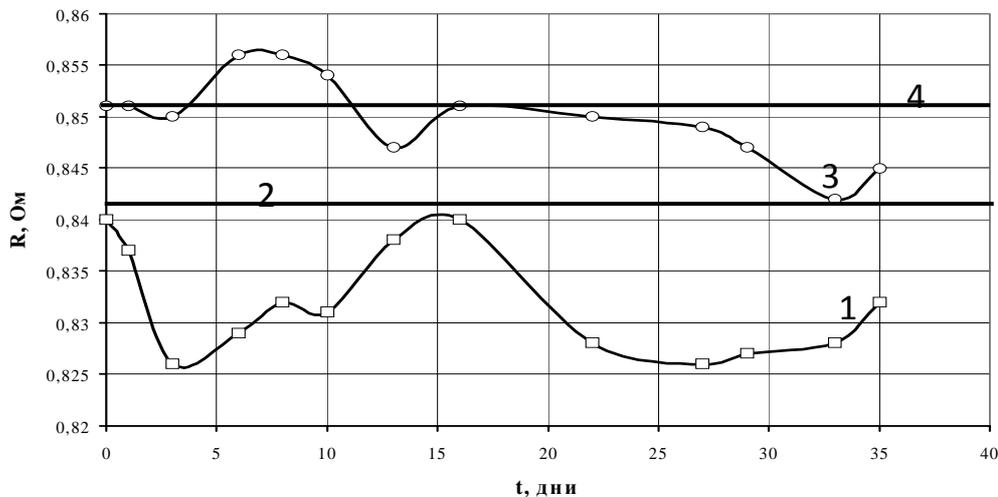


Рис. 3. Зависимость электросопротивления технической меди от времени, прошедшего после облучения ($U=2,5\text{кВ}$): 1 – облученный образец; 2 – необлученный образец (1, 2 – измерения при 20°C); 3 – облученный образец; 4 – необлученный образец (3, 4 – измерения при 90°C)

Следует отметить следующие особенности полученных данных: в течение длительного времени (до 1,5 месяца) после прекращения облучения наблюдаются сильные осцилляции значений электросопротивления образцов; имеется ярко выраженная тенденция к уменьшению электросопротивления образцов после их облучения в тлеющем разряде; уменьшение

электросопротивления меди после облучения при различных измеренных температурах противоречит установленному факту одновременного повышения плотности дислокаций в облученных образцах. Эта аномалия прежде всего, свидетельствует о долгоживущем сильно неравновесном состоянии образцов после низкоэнергетического ионного облучения.

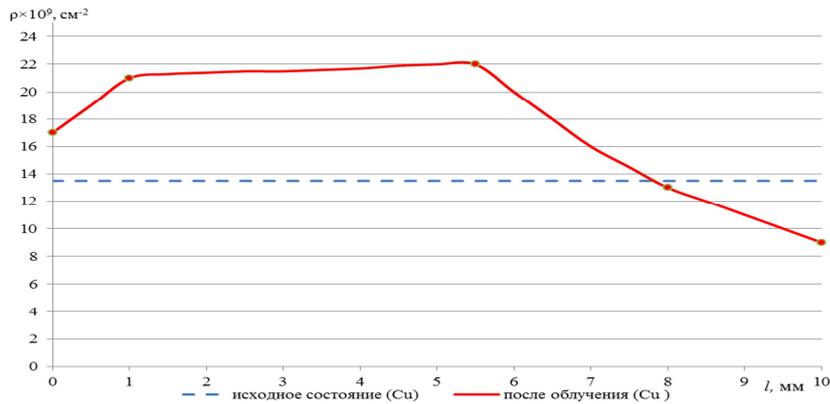


Рис. 4. Графическая зависимость плотности дислокаций технической меди от поверхности воздействия тлеющего разряда.

Исследование дислокационной структуры (рис. 4) подтверждает наличие дальнего действующего эффекта после воздействия тлеющего разряда.

Дислокационная структура образцов меди, изученная методом электронной микроскопии, представлена на рис. 5.

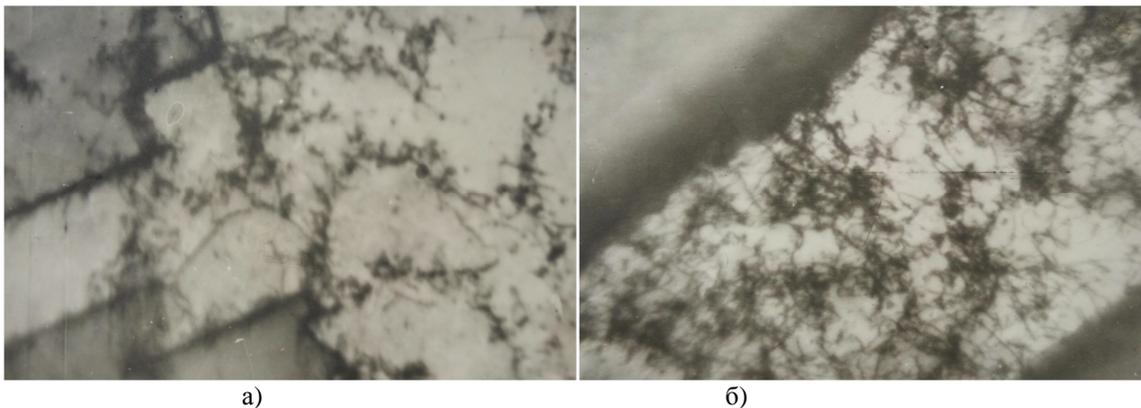


Рис. 5. Дислокационная структура меди: а – исходное состояние; б – после воздействия тлеющего разряда при напряжении $U=1$ кВ на расстоянии 770 мкм от поверхности облучения

Графическая зависимость на рис. 4 и изменение дислокационной структуры (рис. 5) свидетельствуют о возможном из-

менении механизмов проводимости облученных образцов, которое требует дальнейшего исследования.

Заключение

Низкоэнергетическое ионное облучение в тлеющем разряде приводит к изменению электросопротивления материалов. Установлено изменение типа проводимости материалов после обработки их низко-

энергетическими ионами. Низкоэнергетическое ионное облучение может быть использовано для создания новых технологий модификации материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, Э.В. Формирование дефектной структуры при воздействии на металлы плазмы газового разряда /Э. В. Козлов [и др.] // Изв. вузов. - Физика. – 1992. – № 1. – С. 14–19.

2. Tereshko, I.V. Active Modification and Amorphisation of Materials by Low-Energy Ion Irradiation / I. V. Tereshko [et al.] // Application of Particle and Laser Beams in Materials Technology / edit by Misaelides; NATO ASI Series, Kluwer Academic

- Publishers. – Dordrecht; Boston, London. – 1995. – P. 595-602.
3. Tereshko, I.V. Materials modification by low-energy ion irradiation NIMB / I.V. Tereshko, V.I. Khodyrev, E.A. Lipsky, A.V. Goncharenya, A.M. Tereshko. – 1997. - V. 127/128. - P. 861–864.
 4. Терешко, И.В. Образование нанокластеров в металлах под действием низкоэнергетического ионного облучения в плазме тлеющего разряда / И. В. Терешко [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2006. – №8. – С. 198–201.
 5. Терешко, И.В. Изменение свойств материалов и необходимость автоматизации технологической среды плазменной обработки в тлеющем разряде / И.В. Терешко, В.А. Логвин, В.П. Редько // Качество. Инновации. Образование. – М.: Европ. центр по качеству, 2015. – № 5. - Том II. – С. 403–410.
 6. Tereshko, I.V. Self Organizing processes in metals by Low-energy ion beams Nucl. Instr. And Meth. In Physics Research NIMB / I.V. Tereshko, V.I. Khodyrev, E.A. Lipsky. - 1993. – V. 80/81. – P. 115-117.
 7. Терешко, И.В. Самоорганизационные процессы в материалах после низкоэнергетического ионного воздействия и прогнозирование их механических и физических свойств. Физика процессов деформации и разрушения и прогнозирование механического поведения материалов / И. В. Терешко [и др.] // Труды XXXVI международного семинара «Актуальные проблемы прочности». - 2001. – С. 648–653.
 1. Kozlov, E.V. Defective structure formation at gas discharge plasma influence upon metals /E.V. Kozlov [et al.] // *Proceedings of Colleges. - Physics.* – 1992. – № 1. – pp. 14–19.
 2. Tereshko, I.V. Active Modification and Amorphisation of Materials by Low-Energy Ion Irradiation / I. V. Tereshko [et al.] // *Application of Particle and Laser Beams in Materials Technology* / edit by Misaelides; NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers. – Dordrecht; Boston, London. – 1995. – P. 595-602.
 3. Tereshko, I.V. Materials modification by low-energy ion irradiation NIMB / I.V. Tereshko, V.I. Khodyrev, E.A. Lipsky, A.V. Goncharenya, A.M. Tereshko. – 1997. - V. 127/128. - P. 861–864.
 4. Tereshko, I.V. Nano-cluster formation in metals affected by low-energy ionic irradiation in glow discharge plasma / I.V. Tereshko [et al.] // *Proceedings of Colleges. Physics.* – 2006. – №8. – pp. 198–201.
 5. Tereshko, I.V. Material properties changes and necessity in technological environment automation of plasma treatment in glow discharge / I.V. Tereshko, V.A. Logvin, V.P. Redko // *Quality. Innovations. Education.* – М.: European Quality Center, 2015. – № 5. – Vol. II. – pp. 403–410.
 6. Tereshko, I.V. Self Organizing processes in metals by Low-energy ion beams Nucl. Instr. And Meth. In Physics Research NIMB / I.V. Tereshko, V.I. Khodyrev, E.A. Lipsky. - 1993. – V. 80/81. – P. 115-117.
 7. Tereshko, I.V. Self-organizing processes in materials after low-energy ionic impact and forecasting of their stress-strain and physical properties. Physics of deformation and destruction processes and forecasting of materials mechanical behavior / I.V. Tereshko [et al.] // *Proceedings of the XXXVI-th Inter. Seminar “Actual Problems in Durability”.* - 2001. – pp. 648–653.

Статья поступила в редколлегию 11.07.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор
Кабак И.С.

Сведения об авторах:

Терешко Ирина Васильевна, к. физ.-мат. н., доцент кафедры «Физика», государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», e-mail: iter41@mail.ru.

Логвин Владимир Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», Государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», e-mail: logvinvladim@yandex.ru.

Терешко Валерий Михайлович, к. физ.-мат. н., лектор кафедры вычислительной техники, университета Западной Шотландии, e-mail: val.ter@virgin.net.

Шептунов Сергей Александрович, д.т.н., профессор, директор института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, e-mail: ship@ikti.org.ru.

Tereshko Irina Vasilievna, Can.Physics-Math., Assistant Prof. of the Dep. “Physics”, the State Institution of Higher Vocational Education “Belarussian-Russian University”, e-mail: iter41@mail.ru.

Logvin Vladimir Alexandrovich, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. “Machine-tools and Tools”, the State Institution of Higher Vocational Education “Belarussian-Russian University”, e-mail: logvinvladim@yandex.ru.

Tereshko Valery Mikhailovich, Can. Physics-Math., Lecturer of the Dep. of Computer Equipment, the University of Western Scotland, e-mail: val.ter@virgin.net.

Sheptunov Sergey Alexandrovich, D.Eng., Prof., Director of the Institute of Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, e-mail: ship@ikti.org.ru.

