

были бы порошки с распределением по размерам менее 100 нм.

Вывод Установлено, что размер частиц нанопорошка меди зависит от введенной в проводник энергии. Наиболее интересны с точки зрения практического применения, нанопорошки меди, полученные при высоких значениях введенной в проводник энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dash P.K., Balto Y. Generation of Nano-copper Particles through Wire Explosion Method and its Characterization // Research Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2011. – № 1. – P. 25–33
2. Нгуен Хай Минь. Исследование галогенирующей активности новых N-бром и N-иод имидов. Синтез органических люминофоров. Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата химических наук. – Томск, 2013. – 21 с.
3. Лернер М.И. Основы технологии получения и некоторые области применения электровзрывных нанопорошков неорганических материалов. Дисс. на соискание учёной степени доктора технических наук. – Томск, 2007. – 325 с
4. Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва // Известия Вузов. Физика. – 1996. – № 4. – С.114–136.
5. Кварцхава И.Ф., Бондаренко В.В., Плюто А.А. и др. Осцилографическое определение энергии электрического взрыва проволочек // Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики. – 1956. – В.5 – № 31. – С. 745–751.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДОЗНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ АЗОТА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПАР ТРЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕДИ

С.Ю. Жарков¹, М.П. Калашников², О.В. Сергеев²

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.П. Сергеев

¹Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,
Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, г.Томск, Академический 2/4, 634021

E-mail: retc@ispms.tsc.ru

INFLUENCE OF HIGH DOSE NITROGEN ION IMPLANTATION AS FUNCTION OF WEAR RESISTANT OF COPPER FRICTION PAIR

S.Y. Zharkov¹, M.P. Kalashnikov², O.V. Sergeev²

Supervisor: Prof. Dr. V.P. Sergeev

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina, 30, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science, Russia, Tomsk, av. Academicheskii, 2/4, 634021

E-mail: retc@ispms.tsc.ru

Changing of wear resistance of copper couple of friction by nitrogen ion implantation was investigated by tribological tests in argon atmosphere, structural-phase state of treated sample's surface was investigated by TEM, microhardness was determinated by nano-indenter, penetration of nitrogen ions was investigated by mass

spectrometry of the secondary ions. It was established that high dose nitrogen ion implantation increased wear resistant of copper friction pair in 1.5-4.5 times, microhardness of sample's surface increased too.

Эксплуатация в открытом космосе спутниковых антенн, которые в условиях непрерывного вращения принимают слабые электромагнитные сигналы, требует создания электроконтактных пар трения (ЭКПТ), имеющих высокую электропроводность, низкий коэффициент трения и высокую износостойкость в отсутствие смазки [1]. Для изготовления щеток и контактных колец ЭКПТ применяют серебряные и медные сплавы. Для снижения коэффициента трения и повышения износостойкости в сплавы добавляют дисульфид молибдена, углерод и другие элементы.

Одним из методов решения этой задачи может быть ионно-пучковое наноструктурирование поверхностных слоев применяемых материалов. При этом возможно создание максимально однородного распределения напряжений на интерфейсе «наноструктурированный поверхностный слой – основной объем материала», сечение которого в плоскости интерфейса имеет вид «шахматной доски» с чередующимися областями сжатия и растяжения. Действие этого фактора в совокупности с наличием в наноструктуре квазиаморфной фазы могут обеспечить эффективную релаксацию в наноструктурированном поверхностном слое концентраторов напряжений всех масштабов, приводя к значительному повышению трибомеханических свойств нагруженного твердого тела [2].

Целью работы является исследование влияния поверхностной обработки высокоэнергетическими пучками ионов азота на износостойкость и микротвердость медных образцов. При этом поверхность контртела, изготавливаемого также из меди, не подвергается ионной обработке.

В качестве материалов для исследования выступали параллелепипеды размером 5 x 5 x 15 мм из листовой меди марки М1, предварительно полированные до зеркального блеска. Ионы азота имплантировались в медные образцы с помощью имплантера «ИГИ-3». Образцы взвешивались после обработки, испытывались на трение в испытательной машине по схеме «колодка–диск» в паре с медным контртелом той же марки. Глубина проникновения ионов азота в медные образцы определялась методом масс-спектрометрии вторичных ионов (МСВИ). Структурно-фазовое состояние образцов исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на микроскопе JEM-2100. Микротвердость измерялась с помощью нанотвердомера Nanotest-600.

Установлено, что высокодозная имплантация ионов азота медных образцов повышает износостойкость в зависимости от продолжительности обработки в 1,5–4,5 раза при работе в паре с контртелом из меди в среде аргона при времени износа 60 мин. Видно (рис.1), что зависимость износостойкости W от флюенса облучения близка к прямо пропорциональной.

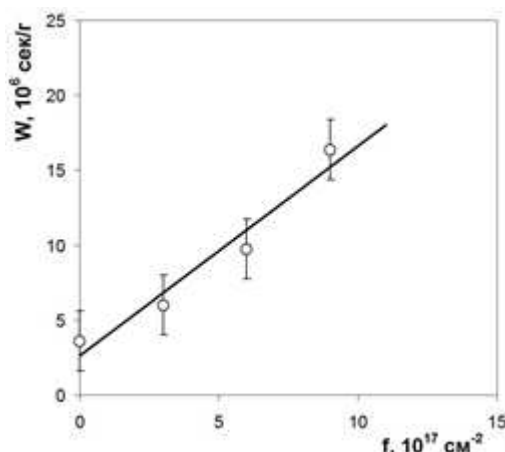


Рис. 1. Изменение износостойкости (W) ионно-модифицированных образцов меди с увеличением флюенса f ионов азота при постоянной энергии 20 кэВ. Время изнашивания образцов – 60 мин

При определении концентрационных профилей внедренного азота методом МСВИ (рис.2) выявлено значительное увеличение в ионно-модифицированном поверхностном слое концентрации азота вплоть до 8–10

ат.%. Изучение структуры медных образцов после бомбардировки ионами азота методом ПЭМ показало,

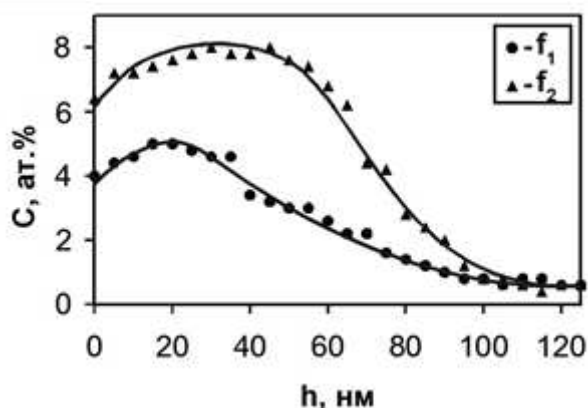


Рис. 2. Концентрационные профили (а) имплантированных в медный образец ионов азота с энергией $E = 20$ кэВ при флюенсах $f_1 = 9 \cdot 10^{17}$ см⁻² и $f_2 = 1,8 \cdot 10^{18}$ см⁻²

что в поверхностном слое происходит измельчение зеренной структуры (наноструктурирование) основной фазы Cu и образование в нем микропор или газовых пузырей. Эти явления наблюдаются при больших флюенсах ионного облучения, превышающих значение $3 \cdot 10^{17}$ см⁻². Интенсивность их возрастает с увеличением флюенса. Средний размер зерен меди в ионно-имплантированном поверхностном слое при достижении $f = 1,8 \cdot 10^{18}$ см⁻² уменьшается от ~50 мкм до ~0,5 мкм, поперечный размер

образующихся микропор или газовых микропузырей находится в пределах 0,03-0,15 мкм. Определение микротвердости H_u поверхностного слоя показывает ее слабую зависимость от флюенса f ионного облучения для медных образцов (рис.3). Зависимость H_u (f) для ионно-модифицированных медных образцов имеет экстремальный характер с максимумом при $f \sim 9 \cdot 10^{17}$ см⁻² (рис. 3). Действие этого механизма эффективно в области низких значений $f \leq 1 \cdot 10^{18}$. В области более высоких значений f существенно возрастает пористость в поверхностном слое медного образца, что вызывает понижение его микротвердости.

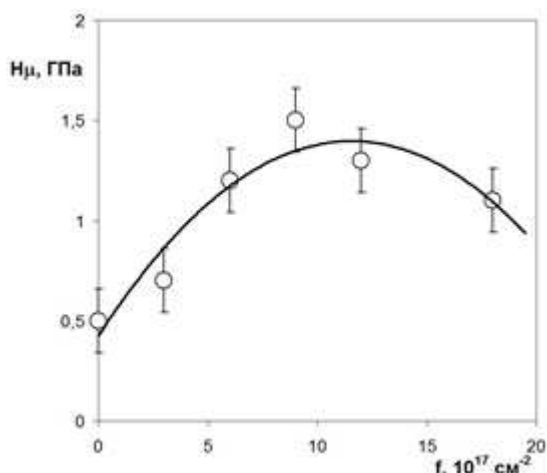


Рис. 3. Величина микротвердости H_u ионно-модифицированных образцов меди при разных значениях флюенса f ионов азота и постоянной энергии 20 кэВ

Повышение триботехнических свойств исследуемых пар трения при высокодозной имплантации ионами азота может быть связано с повышением релаксационной способности поверхностного слоя в результате значительного увеличения концентрации азота в нем, которое сопровождается измельчением зеренной структуры (наноструктурированием) основной фазы гцк-Cu и образованием микропор или газовых микропузырей в поверхностном слое.

Таким образом, высокодозная имплантация ионов азота в медные образцы повышает износостойкость в 1,5–4,5 раза при работе в паре с контртелом из того же материала в среде аргона. При этом, микротвердость

H_u медных образцов также возрастает. Методом ПЭМ и МСВИ показано, что повышение триботехнических свойств может быть связано с повышением его релаксационной способности вследствие значительного увеличения концентрации азота в нем, которое сопровождается измельчением зеренной структуры основной фазы гцк-Cu и образованием микропор или газовых пузырей в поверхностном слое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авербух В.Я., Гамыгин К.А., Глушкин Я.А. Ферромагнитные электроконтактные материалы для многоканальных вращающихся контактных устройств // Электрические контакты, 2002. – С. 148–150.
2. Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В.. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий. 2008. – Томск: Изд-во ТПУ. – 286 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА АК7Ч.

Л.А. Казанцева¹, А. П. Зыкова^{1,2}

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. И. А. Курзина^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: lyudmilka-malinka@mail.ru

RESEARCHING OF THE MODIFIES ABILITY OF DIFFERENT COMPOSITION ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY.

L. A. Kazantseva¹, A.P. Zykova^{1,2}

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.A. Kurzina^{1,2}

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

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

E-mail: lyudmilka-malinka@mail.ru

In this paper, we carried out a comparative investigation of the influence of the various modifiers on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloy. The modification of aluminum alloy has been reduced for reduction of the size crystal Si and Fe-containing phases.

Среди литейных сплавов на основе алюминия особый интерес представляют сплавы системы Al-Si (силумины), которые характеризуются хорошими литейными, а также высокими технологическими и механическими свойствами. Известно [1], что морфологические характеристики Si кристаллов и Fe-содержащие фазы оказывают существенное влияние на механические свойства Al-Si сплавов, в связи со структурными особенностями – грубым и хрупким строением. Улучшение структуры, повышение механических и технологических свойств сплавов Al-Si можно достичь путем повышения дисперсности кремниевой эвтектики и Fe-содержащих фаз за счет модифицирования сплава малыми добавками модификаторов различного состава: рафинирующих флюсов, солей на основе натрия, нано- ультрадисперсных порошков металлов и др. [1, 2]. Поэтому целью работы являлось изучение влияния различных модифицирующих составов на структуру, фазовый состав и механические свойства сплава АК7ч.

Для оценки влияния различных модифицирующих составов (МС) на физико-химические характеристики и механические свойства силумина использовали сплав марки АК7ч, отливки которого