

О. І. Денисенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖЕКЦІЙНОГО СИНТЕЗУ КОМПОЗИТНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ШАРІВ ТОНКИХ СТРІЧКОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ

У статті описані результати досліджень закономірностей інжекційного синтезу металокомпонентних функціональних шарів тонких стрічкових електродів для літєвих джерел струму при високоенергетичних впливах, які супроводжують гальмування і проникнення розігнаних у надзвуковому потоці оксидних мікрочастинок в металеву поверхню.

Ключові слова: двофазний струмінь, оксидна мікрочастинка, ударна взаємодія, тонкий стрічковий електрод, металокомпонентний шар

1. Вступ

Дослідження, про які йдеться у доповіді, відносяться до галузі літєвої енергетики. Під керівництвом проф., д. т. н. Калинушкіна Є. П. і акад. Тарана-Жовнира Ю. М. (НМетАУ) було започатковано новий підхід до проблеми формування без зв'язуючого композитних функціональних шарів електродів для літєвих джерел струму, пов'язаний із інжекцією надзвуковим струменем дисперсної фази електрохімічно активної речовини в приповерхневий шар металеві фольги. Завдяки тому, що інжекційне впровадження в електродну поверхню оксидного порошку з високошвидкісного двофазного струменя є процесом термодинамічно нерівноважним, стає можливим формування металокомпонентного функціонального шару з унікальним комплексом електрохімічних і механічних властивостей в умовах інтенсивних механічної активації і дисипації енергії.

2. Постановка проблеми

Використання інжекційної технології при виготовленні катодів вторинних літєвих джерел струму висуває нові науково-технічні задачі, пов'язані з науковими основами теорії обробки матеріалів висококонцентрованими джерелами енергії (струменями впроваджуваних мікрочастинок), створенням обладнання для їх реалізації, технологічного оснащення, систем керування та діагностики, дослідженням з використанням математичного та фізичного моделювань структурно-фазових перетворень у матеріалах в умовах інжекційної взаємодії.

3. Основна частина

3.1. Аналіз літературних джерел по темі дослідження. В [1–6] запатентовані отримані із співав-

торством проф., д. т. н. Калинушкіна Є. П. напрацювання в галузі розвитку технологій формування функціональних покриттів, спрямованих на одержання наноструктурних електродів літій-іонних батарей з високою швидкістю заряду/розряду для використання в гібридних автомобілях, автономних інструментальних комплексах, низьких за собівартістю супертонких первинних і вторинних джерелах струму загального призначення та ін. Технології розрізнялись механізмами переносу речовини на оброблювану поверхню: потоком пари високого тиску (традиційна VDS технологія), потоком газу (пари) із мікрочастинками вихідного матеріалу в рідкому стані (PVDS технологія) або потоком газу (пари) із мікрочастинками вихідного матеріалу у твердому стані (HDS, HPVDS, інжекційна технологія).

3.2. Результати досліджень. Для технології інжекційного синтезу металокомпонентних шарів на тонких рухомих стрічкових електродах напрацьовані архітектури організації спеціалізованих програмно-апаратних комплексів і відповідні системи моніторингу керуючих та діагностуємих параметрів.

Досліджені силова і енергетична взаємодії тонкої електродної стрічки з упроваджуваними в неї ударними гальмуваннями одиничними мікрочастинками. Експериментально спостережені крихке руйнування мікрочастинок з локалізацією осколків в місцях зіткнень і оплавлення матричного металу електроду поблизу зони ударного контакту з мікрочастиною. Проведено і проаналізовано аналогію між енергетичними впливами (і їх наслідками) від ударів оксидних мікрочастинок по поверхні тонкої алюмінієвої електродної стрічки при інжекційному методі їх впровадження і енергетичними впливами (і їх наслідками) від дії лазерного імпульса на алюміній з оплавленням чи передоплавленням його поверхні. Експериментально встановлено, що трансформація розмірів вихідних оксидних мікрочастинок як в процесі інжекційного синтезу

металокомпозитного шару, так і металокомпозитного порошку в зустрічних двофазних струменях, відбувається в напрямку подрібнення до розмірів 100–400 нм, а квазірівномірність розподілу найдрібніших оксидних мікрочастинок по поверхні металокомпозиту корелює із всебічним розсіянням уламків оксидних мікрочастинок, які утворюються при ударних міжчастинкових взаємодіях.

Досліджена залежність ефективності процесу синтезу електродного металокомпозиту інжекційним методом від динамічно відтворюваного приповерхневого шару з мікрочастинок, який екранує оброблювану поверхню від дисперсної фази спрямованого на неї надзвукового двофазного струменя і формується мікрочастинками, що не закріпилися на електроді після ударного зіткнення і є присутніми в зоні впливу струменя на поверхню. Розрізнено і досліджено два механізми поповнення приповерхневого екрануючого шару, а саме: перший — мікрочастинками, які не закріпилися на мішені при ударі по її поверхні, другий — мікрочастинками, які брали участь у міжчастинкових зіткненнях над поверхнею мішені.

Одержані нові дані відносно динаміки формування поля температур у тонкій стрічці з алюмінію під впливом дисперсної фази переміщуваного по її поверхні плоского двофазного струменя, а також умов формування на поверхні і динаміки руху в товщу стрічки фронту розплаву.

Вперше фактори, які призводять до дефектоутворення на тонкому стрічковому електроді при інжекційному синтезі його металокомпозитного шару, в результаті системного їх аналізу зведені до коливальних проявів (галоупування) тонкої металевої стрічки, переміщуваної в інжекційній камері відносно двофазного струменя, що діє на неї, і розроблені методи їх пригнічення. Експериментально спостережені і досліджені кінетичні фазові переходи з формуванням дисипативних структур у вигляді складчатих візерунків, конфігурації яких визначалися кінетичними і енергетичними параметрами інжекційної взаємодії при високоенергетичній обробці двофазним струменем тонкої рухомої електродної стрічки в процесі синтезу на ній металокомпозитного шару. Розроблені рекомендації для забезпечення рівновісності тонкого стрічкового електроду.

Література

1. Methods and apparatus for deposition of thin films [Електронний ресурс]: Patent 7208195 US: International Classes: C23C16/00; C23C14/08; C23C14/22; C23C14/24; C23C16/00 / Y. Kalynushkin (UA), E. Shembel (US), P. Novak (BE), C. Flury (CH); Assignee: Ener1Group, Inc. (US). — № 10/108140; Filing Date: 03/27/2002, Publ. Date: 04/24/2007. — Режим доступу: www. URL: <http://www.freepatentsonline.com>.
2. Production method of lithium batteries [Електронний ресурс]: Patent 7601182 US: International Classes: H01M6/04; H01M4/131; H01M4/136; H01M4/1391; H01M4/1397 / E. Shembel (US), Y. Kalynushkin (US),

P. Novak (US), A. Balakin (UA), A. Markevich (UA); Assignee: Enerize Corporation (US). — № 10/898398; Filing Date: 07/23/2004, Publ. Date: 10/13/2009. — Режим доступу: www. URL: <http://www.freepatentsonline.com>.

3. Apparatus for forming structured material for energy storage device and method [Електронний ресурс]: Patent 7951242 US: International Classes: C23C16/00 / Y. Kalynushkin (US), P. Novak (US); Assignee: Nanoener Technologies, Inc. (US); Ener1, Inc. (US). — № 11/561082; Filing Date: 11/17/2006, Publ. Date: 05/31/2011. — Режим доступу: www. URL: <http://www.freepatentsonline.com>.
4. Electrode for cell of energy storage device and method of forming the same [Електронний ресурс]: Patent 7972731 US: International Classes: H01M4/80 / Y. Kalynushkin (US), P. Novak (US); Assignee: Ener1, Inc. (US); Nanoener Technologies, Inc. (US). — № 11/561077; Filing Date: 11/17/2006, Publ. Date: 07/05/2011. — Режим доступу: www. URL: <http://www.freepatentsonline.com>.
5. Apparatus for forming structured material for energy storage device and method [Електронний ресурс]: Patent 8142569 US: International Classes: C23C16/00; C23C16/455; C23C16/54 / Y. Kalynushkin (US), P. Novak (US); Assignee: Nanoener Technologies, Inc. (US); Ener1, Inc. (US). — № 11/561531; Filing Date: 11/20/2006, Publ. Date: 03/27/2012. — Режим доступу: www. URL: <http://www.freepatentsonline.com>.
6. Electrode for energy storage device and method of forming the same [Електронний ресурс]: Patent 7717968 US: International Classes: H01M4/82; B05D5/12; H01M4/02 / Y. Kalynushkin (US), P. Novak (US). — № 11/560922; Filing Date: 11/17/2006, Publ. Date: 05/18/2010. — Режим доступу: www. URL: <http://www.freepatentsonline.com>.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНЖЕКЦИОННОГО СИНТЕЗА КОМПОЗИТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ ТОНКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

А. И. Денисенко

В статье описаны результаты исследований закономерностей инжекционного синтеза металокомпозитных функциональных слоев тонких ленточных электродов для литиевых источников тока при высокоэнергетических воздействиях, сопровождающих торможение и проникновение разогнанных в сверхзвуковом потоке микрочастиц оксидов в металлическую поверхность.

Ключевые слова: двухфазная струя, оксидная микрочастица, ударное взаимодействие, тонкий ленточный электрод, металокомпозитный слой.

Александр Иванович Денисенко, кандидат технических наук, доцент кафедры физики Национальной металлургической академии Украины, тел.: (099) 044-52-93, e-mail: adenysenko@mail.ru.

STUDIES OF INJECTION SYNTHESIS OF COMPOSITE FUNCTIONAL LAYERS OF THIN STRIP ELECTRODES

O. Denysenko

The paper describes the results of studies of the patterns of injection synthesis of metal composite functional layers of thin strip electrodes for lithium power sources at high energy exposures that accompany braking and penetration of accelerated in the supersonic flow microparticles of oxides into the metal surface.

Keywords: two-phase jet, oxide microparticle, impact interaction, thin strip electrode, metal composite layer.

Olexandr Denysenko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, National Metallurgical Academy of Ukraine, tel.: (099) 044-52-93, e-mail: adenysenko@mail.ru.