

УДК 681.2;620.1

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОДИФІКАЦІЇ ТВЕРДИХ ТІЛ ТА ОБРОБКИ КОНДЕНСОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ

В роботі розглянуто проблему використання електрофізичних джерел іонізуючого випромінювання для підвищення ефективності галузей промисловості і агропромислового комплексу, запобігання поширенню збудників інфекцій та терористичних проявів, вирішення екологічних проблем. Розглянуто перспективи подальшого розвитку наукових досліджень в галузі розробки електрофізичних радіаційних технологій. Зазначено особливості правового супроводу та суспільного сприйняття даних технологій

Ключові слова: електрофізичні радіаційні технології, іонізуюче випромінювання

В работе рассмотрена проблема использования электрофизических источников ионизирующего излучения для повышения эффективности отраслей промышленности и агропромышленного комплекса, предотвращения распространения возбудителей инфекций и террористических проявлений, решения экологических проблем. Рассмотрены перспективы последующего развития научных исследований в области разработки электрофизических радиационных технологий. Отмечены особенности правового сопровождения и общественного восприятия данных технологий

Ключевые слова: электрофизические радиационные технологии, ионизирующее излучение

В. Ф. Клепиков

Доктор фізико-математичних наук, професор, член-коресподент
НАН України,
директор ІЕРТ НАН України*

М. І. Базалєєв

Кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник*

В. В. Литвиненко

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
заступник директора ІЕРТ НАН України*

В. Ю. Корда

Доктор фізико-математичних наук, начальник відділу*

Ю. О. Касаткін

Доктор фізико-математичних наук, професор*

О. С. Молев

Доктор фізико-математичних наук, провідний науковий
співробітник*

Є. М. Прохоренко

Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий
співробітник*

E-mail: fort-58@mail.ru

В. М. Робук

Кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Об'єднаній інститут ядерних досліджень
(м. Дубна, Московської обл.)*

*Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
вул. Гуданова, 13, м. Харків, Україна, 61002

1. Вступ

На теперішній час, коли інноваційний розвиток держави є умовою її ефективного розвитку, постає питання визначення стратегічних науково-технічних напрямків, які б дозволили піднести ключові галузі економіки, запобігти рецидивам кризи та можливим техногенним і терористичним ризикам. До такого напрямку, безумовно, належать електрофізичні радіаційні технології.

У світовій економіці постійно зростає об'єм промислових технологій з використанням радіаційної (променевої) обробки різних матеріалів. В основі цих технологій лежать явища, ефекти й процеси, у яких переважною є електромагнітна взаємодія іонізуючої частки з атомами речовини. Актуальна на теперішній час проблема терористичних проявів щодо подільних матеріалів, зумовлює зменшення частки ізотопних джерел випромінювання і більш широке використання електрофізичних джерел – прискорювачі заряджених часток, рентгенівські трубки, ультрафіолетові лампи

й т.д. Тому в загальному випадку їх варто називати електрофізичними радіаційними технологіями [1].

За останні п'ятнадцять років темпи росту впровадження електрофізичних радіаційних технологій у світі становить близько 20 % на рік, що поступається лише інформаційним, та біотехнологіям. У багатьох країнах електрофізичні радіаційні технології (ЕРТ) використовуються для стерилізації медичної продукції й інструментів, консервації харчових продуктів, дезінсекції зернових культур, передпосівної стимуляції насіння, збільшення виходу корисних речовин з рослинної сировини, стерилізації й очищення стічних вод, знищення газових викидів відходів промислових підприємств, радіаційного стимулювання процесів полімеризації, хімічного синтезу, радіаційного зміцнення інструментальної сталі, технічного контролю в геології, дефектоскопії та ін.

Слід зазначити, що дані технології розвиваються в Україні як на стадії проведення наукових досліджень, так і на промисловому рівні. Центрами розвитку та впровадження радіаційних технологій є низка установ НАН та МОН України, в яких даний напрямок є традиційно сформованим та наявні відповідні дослідницьке обладнання, джерела іонізуючого випромінювання, кваліфікований кадровий склад, спеціалізовані капітальні споруди.

Разом з тим, потенціал розвитку нових напрямів застосування та впровадження існуючих ЕРТ є дуже високим. Однак, впровадження в Україні стримується через низку причин різного характеру: низький рівень фінансування з боку держави наукового супроводу ЕРТ, відсутність цільових інвестицій, відсутність вітчизняних джерел іонізуючого випромінювання, правова неврегульованість, соціальні чинники.

Розглянемо більш детально кожен з зазначених аспектів.

2. Науковий супровід електрофізичних радіаційних технологій

Позиціонуючи ЕРТ як проривний напрям розвитку науки і техніки держави необхідно також зупинитись на їх кореспондуванні з таким брендом, як нанотехнології. Для цього коротко розглянемо особливості розробки ЕРТ. Широке впровадження цих, безумовно перспективних, технологій стримується з багатьох причин, головною з яких є недостатня вивченість механізму радіаційних процесів на мікрорівні та нанорівні. В окремих випадках не є можливим однозначно визначити характер спостережуваних явищ, а також послідовність фізико-хімічних процесів. Як правило, оброблюваний об'єкт є складним середовищем, що містить органічні й неорганічні речовини, що мають різну реакцію на діюче випромінювання. Така ситуація ускладнює усунення технічних труднощів, пов'язаних із промисловою реалізацією радіаційних технологій. Розробка й оптимізація радіаційних технологій вимагає проведення багатофакторного експерименту, що враховував би вплив і причинно-наслідкові зв'язки, обумовлені не тільки значеннями поглиненої дози і її потужності, але й такими додатковими факторами, як температура навколишнього середовища, просторовий розподіл поля поглиненої дози, фізичну і/або

хімічну реакцію об'єкта на опромінення та ін. У ряді випадків ефективність одержання заданого радіаційно-стимульованого виходу може значною мірою визначатися значенням одного з перерахованих вище додаткових факторів або комбінацією декількох з них. Разом з тим відкриваються перспективи використання джерел іонізуючого випромінювання в нанотехнологіях. Одним з способів одержання наноструктур в твердих тілах є опромінення полімерних матриць потоками високоенергетичних іонів, внаслідок чого утворюються треки діаметром 5-10 нм, які потім шляхом осадження заповнюються атомами відповідної речовини і, таким чином одержуються нанодропки, що є перспективним матеріалом для пристроїв на основі ефекту надпровідності, створення квантового комп'ютера, покращення адгезії металічних матеріалів до полімерів тощо [2]. Дослідження в цьому напрямку проводяться в тому числі в рамках міжнародного співробітництва, зокрема, в рамках членства України в Міжнародній міжурядовій організації Об'єднаний інститут ядерних досліджень. Даний напрям фінансується в рамках відомчої тематики НАН України та закладений в Державну програму фундаментальних і прикладних досліджень з проблем використання ядерних матеріалів та ядерних і радіаційних технологій у сфері розвитку галузей економіки.

3. Напрями застосування радіаційних технологій

Антитерористичні заходи. Поштові відправлення залишаються одними з найменш захищених потоків продукції, оскільки предметом несанкціонованих вкладень можуть бути, як відомо, штами небезпечних бактерій і вірусів, або пластикова вибухівка, що мало місце ще до піка терористичної діяльності. Знезараження (знищення мікроорганізмів) вмісту закритих контейнерів, посилок, листів і т.п. доцільно проводити з використанням електрофізичних джерел електронів і/або гамма-випромінювання (летальні дози порядку 15000 – 25000 Гр.). Контроль робочої зони опромінення, а також виявлення "сторонніх" предметів/речовин у листах, пакетах, бандеролях можна здійснювати за допомогою цифрової інфрачервоної радіометрії, заснованої на реєстрації градієнтів теплових полів об'єктів контролю, що містять речовини з різними теплофізичними характеристиками і, відповідно, мають характерні коефіцієнти трансформації енергії випромінювання в теплову енергію [3].

Модифікація властивостей матеріалів. Радіаційні технології дозволяють досягати потрібних властивостей експлуатаційних характеристик поверхонь деталей [4] (підвищується їхня міцність і зносостійкість, опір окислюванню при корозії, знижується коефіцієнт тертя та ін.), а для таких матеріалів, як скло, кераміка й полімери, відкривається можливість створення структур з новими властивостями (зниження показників переломлення поверхневих шарів скла, зміна магнітних і фотоелектричних властивостей кераміки, підвищення температури плавлення та стійкості до розтріскування полімерних матеріалів і ін.). Одержання якісних напівпровідникових матеріалів шляхом радіаційного відпалу дефектів.

Дистанційна радіаційна дефектоскопія. Радіаційна дефектоскопія передбачає зондуєче опромінення об'єктів рентгенівськими променями або нейтронами. Джерела випромінювань – рентгенівські апарати, радіоактивні ізотопи, лінійні прискорювачі, бетатрони, мікротрони. Сучасна інтроскопія і радіоскопія, обчислювальна томографія дозволяють одержувати пошарове зображення об'єкта, що опромінюється, виявляти дефекти із чутливістю 1,0-1,5% (відношення довжини дефекту в напрямку просвічування до товщини стінки деталі) у литих виробах, зварних з'єднаннях, елементах конструкцій.

Комунальне господарство. В теперішній час, коли розпочали в глобальних масштабах позначатися негативні наслідки хімічних технологій водопідготовки, виникла потреба впровадження нових високоефективних безреагентних методів знезаражування і очищення, що дозволяють знизити ступінь хімічного забруднення питних і стічних вод. У цьому зв'язку буде доречною розробка і глобальне впровадження в практику водопідготовки і водовідведення методу знезаражування води ультрафіолетовим випромінюванням, принциповою особливістю якого є відсутність шкідливого впливу на фізико-хімічні і органолептичні показники знезараженої води. Використання джерел ультрафіолетового випромінювання в ЕРТ дозволяє на теперішній час впроваджувати та комерціалізувати дані технології, оскільки вони не потребують великих капітальних витрат є доступними для вітчизняного споживача. З появою нового покоління бактерицидних УФ-ламп з високими показниками стабільності параметрів випромінювання і високим коефіцієнтом виходу короткохвильового (що має найбільшу бактерицидну дію) УФ-випромінювання і мікропроцесорної техніки, розроблені принципи проектування та виготовлення установок та технологій з оптимальними для споживача техніко-економічними і експлуатаційними характеристиками [5, 6].

Агропромисловий комплекс. Перспективність застосування радіаційних технологій на основі електрофізичних джерел випромінювання в сільському господарстві обумовлена можливістю рішення цілого комплексу проблем, до яких відносяться: вилучення поживних речовин із целюлозомісткої сировини, знезаражування гнойових стоків, передпосівна стимуляція насінневого матеріалу, що забезпечує підвищення його посівних і врожайних якостей, активацію ростових процесів, знищення комірних комах і таке подібне. Ефективність переробки рослинної сировини з метою одержання більш високого виходу вуглеводнів, кормового білка, харчових продуктів, технічного спирту та ін. може бути істотно підвищена при впливі на нього проникаючого іонізуючого випромінювання. Під дією квантів електромагнітного випромінювання або прискорених електронів відбувається деструкція целюлозного комплексу рослинних матеріалів, розрив хімічних зв'язків у макромолекулах, помітно збільшується розчинність у водних середовищах. Внаслідок опромінення збільшується число молекул з низьким ступенем полімеризації, зростає частка полісахаридів, які легко гідролізуються, сумарна кількість органічних кислот. Опромінення рослинної сировини приводить до утворення в ньому хімічно активних груп СООН,

СО, здатних зв'язувати елементи N, P і ін., що є цінним, для виробництва кормових добавок у тваринництві.

Екологічні аспекти енергетики. Радіаційне очищення газових викидів потужних котельних установок ТЕЦ і ГРЕС можуть зменшити виділення в атмосферу азоту і сірки не менш, ніж на 95%. При цьому тверді продукти переробки, що утворилися, можуть бути використані як мінеральні добрива або повернуті в технологічний процес. В основі процесів радіаційного очищення лежать ефекти активації хімічних реакцій в результаті збудження електронних зв'язків і утворення радикалів.

Зниження енергоспоживання великотонажних виробництв. Проблема зниження енергоспоживання великотонажних виробництв в ряді технологічних процесів також має шляхи вирішення через залучення електрофізичних радіаційних технологій. Синергетичне використання теплової енергії та енергії, що передається потужним джерелом іонізуючого випромінювання дозволяє знизити температуру протікання реакції на сотні градусів при збільшенні виходу корисного продукту. Приклади таких технологічних ефектів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Радіаційно-технологічні ефекти у великотонажному виробництві

Процес	Радіаційний ефект	Поглинена доза, кГр	Необхідна потужність прискорювача, кВт
Радіаційно-термічний крекінг [7]	- збільшення виходу світлих нафтопродуктів - зниження температури крекінгу на 10-100 °С - покращення якості нафтопродуктів	2-6	80-100
Радіаційно-термічна активація твердо фазних реакцій [8]	- збільшення виходу портланд-цементного клінкера, глиноземомістких спеків та ін. - зниження температури процесу на 100-200 °С	1000	150-500

В окремих випадках особливо ефективним виявляється спосіб комбінованого опромінення електронним пучком разом з ультрафіолетовим, інфрачервоним або частотно-модульованим електромагнітним випромінюванням [9].

Обробка харчових продуктів. Пошук безпечних засобів подовження строків зберігання харчових продуктів є актуальною проблемою сучасності. А необхідність підвищення надійності санітарно-гігієнічних заходів стає все більш гострою у зв'язку з повідомленнями про спалахи курачого та свинячого грипу. Практичне використання іонізуючого випромінювання в харчовій промисловості засноване на його здатності уповіль-

нювати процеси пророщення та дозрівання плодів та овочів, досягати повного або часткового подавлення мікрофлори і мікроорганізмів на опромінюваному об'єкті.

У 1980 році Об'єднаний комітет експертів МАГАТЕ, ФАО і ВОЗ (ФАО – Продовольчий сільськогосподарська організація ООН, ВОЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я, МАГАТЕ – міжнародне агентство з атомної енергії) дали висновок, відповідно до якого, опромінення будь-якого харчового продукту із загальним середнім рівнем дози до 10 кГр не створює токсикологічної небезпеки, а також не знижує поживних властивостей. На теперішній час у більш ніж 40 країнах допускається споживання як мінімум одного продукту, що пройшов профілактичну радіаційну обробку. У багатьох країнах створюються пілотні промислові установи для обробки харчових продуктів (коренеплоди, свіжі фрукти і овочі, злаки, масломістке насіння, свіжа риба і морепродукти, сухофрукти, спеції, м'ясо птиці і продукти на його основі), проводяться маркетингові дослідження.

Технологічний ефект опромінення конкретного продукту може бути оптимізований в залежності від умов обробки:

- атмосфера обробки: повітря, вакуум, інертний газ;
- температура обробки: глибоке заморожування, низьке заморожування, без заморожування;
- величина поглиненої дози: до 1 кГр – уповільнюють пророщування овочів і фруктів в процесі зберігання; від 1 до 10 кГр – дозволяють збільшити строки зберігання свіжої риби та м'яса [10], більш високими дозами опромінення досягають стерилізації різноманітних спецій з високим ступенем обсягності мікроорганізмами.

Слід зазначити, що радіаційні методи обробки харчової продукції є альтернативою застосуванню хімічних консервантів а також дозволяють виготовляти дієтичну продукцію та продукцію з підвищеними поживними і смаковими якостями [11].

Стерилізація медичних виробів. Відомий летальний вплив іонізуючого випромінювання на мікроорганізми широко застосовується для стерилізації одноразових медичних виробів (шприці, голки, катетери, бінти та ін.). В Україні і в світі працюють ділянки радіаційної стерилізації, здатні обробляти сотні тисяч одиниць виробів [12-13]. В певних випадках радіаційні технології є безальтернативними, наприклад, при післяупаковочній стерилізації термочутливих медичних виробів, коли необхідно досягти бактерицидного ефекту без пошкодження упаковки. Разом з тим на вітчизняному ринку є досить великі перспективи росту послуг з радіаційної стерилізації. Фахівці академії наук виходили з пропозиціями про створення на базі інститутів спеціалізованих центрів, які б могли повністю обслуговувати потреби регіонів держави у радіаційній обробці широкої номенклатури виробів.

4. Правові аспекти розробки і впровадження радіаційних технологій

Розробка та впровадження електрофізичних радіаційних технологій пов'язані з такою сферою правового регулювання як атомне право. Це достатньо широка

сфера правових стосунків, для якої властива з одного боку висока ступінь інтеграції та узгодженості міжнародних положень а з іншого боку специфічність національного законодавства. В цілому діяльність з розробки та впровадження радіаційних технологій підпадає під дію закону України «Про використання ядерної енергії і радіаційної безпеки» від 2.03.1995р. Дія цього закону не поширюється на електрофізичні технології, що використовують джерела ультрафіолетового випромінювання, оскільки енергія квантів УФ не здатна спричинити іонізуючі ефекти в організмі людини

У деяких напрямках застосування ЕРТ, наприклад, стерилізація медичних виробів, дезінсекція зерна, обробка харчової продукції, технологічні процеси регламентуються з урахуванням норм міжнародних організацій. Звертаючись до радіаційної обробки харчової продукції, зазначимо, що Об'єднаний комітет експертів МАГАТЕ, ФАО і ВОЗ дійшли висновку про безпечність опромінення харчових продуктів електронними пучками з енергіями до 10 MeV та гальмівним випромінюванням з енергією кванта до 5 MeV, за умов дотримання певних значень поглиненої дози. За досить широкого поширення в різних країнах даного способу подовження строків зберігання продукції законодавчі норми щодо дозволу на опромінення продукції досить урізноманітнені. Разом з тим, в багатьох країнах законодавчо дозволено використання радіаційної обробки певних груп продуктів з зазначенням верхньої границі поглиненої дози для кожної категорії продукції. Щодо експорту/імпорту такої продукції є однозначна норма, якою передбачається можливість експорту продукції, що пройшла радіаційну обробку, лише у випадку, коли країна імпортер дозволяє споживання такої продукції. В Україні на теперішній час діє дозвільна система на використання в харчових технологіях іонізуючого випромінювання, якою передбачається ліцензування конкретного технологічного процесу.

5. Соціальні аспекти розробки і впровадження радіаційних технологій

Принципи громадянського демократичного суспільства та діюче законодавство передбачають попереднє обговорення серед місцевих громад розміщення ядерних об'єктів, до яких належать і електрофізичні джерела іонізуючого випромінювання. Крім того наявність джерела радіації може послужити додатковим чинником, який ускладнить набір персоналу на підприємство, де використовуються радіаційні технології. Світовий досвід застосування РТ знає окремі випадки занепаду виробничих ділянок через небажання персоналу працювати поруч з випромінюванням [14]. Для України є характерною радіофобія серед населення після Чорнобильської катастрофи. Ці чинники необхідно враховувати при визначенні обсягу інвестицій для впровадження ЕРТ. Адже їх подолання може стати суттєвою статтею витрат. Шляхом часткового уникнення названих проблем є створення центрів радіаційної обробки на спеціалізованих підприємствах, з наявним кваліфікованим персоналом, таких як крупні науково-дослідні установи, технопарки, тощо. Разом з тим, необхідно паралельно з проведенням наукових досліджень здійснювати інформування громадськості, залучати спеціалізовані соціологічні служби.

6. Комплексна діагностика радіаційно-технологічних процесів

У зв'язку з жорсткістю вимог до надійності і безпеки експлуатації ядерних об'єктів, підвищується роль сучасних високоефективних методів діагностики і оцінки фактичного технічного стану устаткування і споруджень у процесі експлуатації, що забезпечує попередження аварій і техногенних катастроф. До числа найбільш перспективних і ефективних напрямків розвитку методів діагностики відносяться методи теплового неруйнівного контролю (ТНК) на основі реєстрації спектру ІЧ випромінювання. У світовій практиці тепловізійний контроль і інфрачервона термографія є одним із методів неруйнівного контролю, що найбільш активно розвивається у зв'язку з можливістю обстеження об'єктів і виявлення дефектів на ранній стадії їхнього розвитку в процесі експлуатації устаткування і споруд без зняття напруги і припинення подачі енергоносіїв. Дистанційність, наочність, об'єктивність, висока продуктивність і оперативність тепловізійного методу дозволяють розширити арсенал технічних засобів неруйнівного контролю при обстеженні технологічного устаткування, споруд і агрегатів

об'єктів атомної енергетики, скоротити експлуатаційні витрати, підвищити безпеку і надійність роботи устаткування [15].

7. Висновки

Розвиток радіаційних технологій в Україні послужить стимулюючим фактором прогресу в суміжних областях і створить основу для розвитку загального рівня національної науки й техніки, підніме технічний і технологічний рівень української економіки. Електрофізичні радіаційні технології здатні зробити значний внесок у розвиток промислового й сільськогосподарського виробництв України, зокрема, виробництва будівельних матеріалів, енергоносіїв, добрив, радіаційно модифікованих полімерних матеріалів і виробів широкої номенклатури, методів очищення й знешкодження відходів міських і промислових біологічних очисних споруджень, відходів тваринницьких комплексів, підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва й ефективності використання продуктів харчової промисловості.

Література

1. Базалеев, Н. И. Электрофизические радиационные технологии [Текст] / Н.И.Базалеев, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко. – Харьков:Акта. – 1998. – 206 с. (монография).
2. Реутов, В. Ф. Ионно-трековая нанотехнология [Текст] / Ф. Реутов, С. Н. Дмитриев. // Российский химический журнал. – 2002. – т.XLVI. – С.74–80.
3. Banduryan, B. V. Broadband IR-sensors based on metal-oxide thin films for detection of low-contrast objects. / Banduryan B. V. Bazaleev N. I., Klepikov V. F., Lytvynenko V. V., Sidorenko A. S. // Abstr. NATO ARW Nanoscale Devices – Fundamentals and Application. – Kishinev, Moldova. – 2004. – p.50.
4. Лонин, Ю. Ф. Использование сильноточного РЭП микросекундной длительности для формирования упрочняющих покрытий [Текст] / Ю.Ф.Лонин, В.Ф.Клепиков, В.Т.Уваров, А.Г.Пономарев. // Вопросы атомной науки и техники сер. Ядерно-физические исследования. – 2008. – №5 (50). – С.91–95.
5. Базалеев, Н. И. Электрофизические технологии: новая концепция обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением [Текст] / Н.И.Базалеев, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко, С.Н.Шаляпин. // Наука та інновації. – 2005. – т.1,№1. – С.99–109.
6. Пристрій для обробки рідин ультрафіолетовим випромінюванням [Текст] : Патент України на винахід № 76181. / Базалеев Н.И., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В. – Бюл.№7 – 17.07.2006
7. Радиоліз углеводородов [Текст] / под ред. Топчиева А.В. и Полака Л.С. – М: АН СССР. – 1962г. – 265 с.
8. Радиационно-термические процессы в мощных потоках ускоренных электронов [Текст]. / В.Л.Ауслендер, В.А.Поляков, Р.А.Салимов // Доклады 4 Всесоюз. Совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве. – 1982. – С.153–160
9. Клепиков, В. Ф. Концепция разрушения и предотвращения роста асфальто-смоло-парафиновых отложений на основе использования воздействий импульсов ионизирующего излучения на высокомолекулярные соединения [Текст] / В.Ф.Клепиков, В.В. Литвиненко, В.Е. Новиков. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – №4/2 (16). – С.79–82.
10. Базалеев, Н. И. Влияние электрофизической радиационной обработки на качество и сроки хранения мясной продукции [Текст] / Н.И. Базалеев, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, И.Н. Шаркевич // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. – 2003. – №1(9). – С.56–61.
11. Сахно, В. И. Разработка технологии производства рыбных пищевых продуктов с использованием электрофизических установок [Текст] / В.И.Сахно, И.Н.Вишневский, С.П.Томчай. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. ЯФИ – 1997. – т.2 – в.4,5 (31,32). – С.172–174
12. Айзацкий, Н. И. Радиационные технологии с применением электронного и тормозного излучения [Текст] / Н.И.Айзацкий, В.Н. Борискин, А.Н. Довбня. // Вопросы атомной науки и техники.сер ЯФИ. – 1999. – №1(33). – С.61–63.
13. Борискин, В. Н. Развитие радиационных технологий и испытаний в НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ [Текст] / В.Н.Борискин, С.А.Ванжа, В.Н.Верещака // Вопросы атомной науки и техники.сер ЯФИ. – 2008. – №5(50). – С.150–154.

14. Сушков, С.Н. Радиационно-химические процессы и установки за рубежом. / С.Н. Сушков, Л.В. Бандерова. – М.:Мысль, 1986. – 198 с.
15. Базалеев, Н. И. Метод визуальной ИК-радиометрии электронных потоков / Н.И.Базалеев, Б.Б.Бандурян, В.В.Брюховецкий, В.Ф.Клепиков, В.В. Литвиненко. // Вопросы атомной науки и техники. – 2003. – №3(83). – С.146–150.

Встановлено ефект посилення процесу текстуроутворення електроосаджуваних металів при впливі відцентрової сили, спрямованої уздовж осі текстури. Виявлено, що незалежно від напрямку силового впливу найбільш значне змінення ступеню текстурованості електроосаджуваних металів відбувається при порівняно невеликих перевантаженнях. Одержані результати доводять достовірність явища фазоутворення електроосаджуваних металів через стадію рідкого стану

Ключові слова: текстура, електроосаджуваний метал, силовий вплив

Установлен эффект усиления процесса текстуробразования электроосаждаемых металлов при воздействии центробежной силы, направленной вдоль оси текстуры. Виявлено, что независимо от направления силового влияния наиболее значительное изменение степени текстурованности электроосаждаемых металлов происходит при сравнительно небольших перегрузках. Полученные результаты доказывают достоверность явления фазообразования электроосаждаемых металлов через стадию жидкого состояния

Ключевые слова: текстура, электроосаждаемый металл, силовое влияние

УДК 669.268

УСИЛЕНИЕ ТЕКСТУРО-ОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРО-ОСАЖДАЕМЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ВДОЛЬ ОСИ ТЕКСТУРЫ

О. Б. Гирин

Доктор технических наук, профессор
проректор по научной работе,
заведующий кафедрой

Кафедра материаловедения
Украинский государственный химико-
технологический университет

пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина, 49005

1. Введение

В работе [1] установлен эффект подавления процесса текстуробразования электроосаждаемых металлов вплоть до полного разупорядочения кристаллических решеток зерен под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры. Полученный результат доказывает достоверность явления фазообразования электроосаждаемых металлов через стадию жидкого состояния [2-5].

Если рассматриваемое явление справедливо, то должен наблюдаться противоположный эффект при смене направления силового воздействия на обратное, т.е. следует ожидать усиления процесса текстуробразования электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы вдоль оси текстуры. Цель данной работы состояла в дальнейшей экспериментальной проверке достоверности открытого явления.

2. Идея работы

Известно, что текстуробразование при кристаллизации металла происходит в направлении внешней

силы, действующей на него [6]. Причем с увеличением значений внешней силы степень совершенства текстуры затвердевающего металла возрастает. Поэтому, если электроосаждаемый металл действительно проходит стадию жидкого состояния, то при влиянии на металлическую жидкость, которая затвердевает, центробежной силой перпендикулярно фронту кристаллизации и вдоль оси текстуры процессы формирования и развития текстуры будут усиливаться.

В результате такого действия центробежной силы фазообразование электроосаждаемого металла будет сопровождаться интенсивным его текстуробразованием. Формирование более совершенной текстуры в металлах, электроосаждаемых в поле центробежной силы, действующей вдоль оси текстуры, будет являться фактом, доказывающим достоверность обсуждаемого явления.

3. Материал и методика исследования

Особенности текстуробразования металлов, электроосаждаемых в поле центробежной силы, действующей вдоль оси текстуры, изучали на образцах меди и