

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ БЛОКУ АКУМУЛЯТОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Циганков Р. С., студент, Халімовський О. М., к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. В даний час літій-іонні акумуляторні елементи використовуються в багатьох приладах, таких як чисті електричні/гібридні транспортні засоби, електронні мобільні пристрої тощо – через їх високу енергетичну щільність. Проте один елемент не може бути використаний у якості акумулятора, оскільки його технічні характеристики не дозволяють забезпечити вимоги щодо параметрів джерел електричної енергії для пристроїв споживання. У зв'язку з цим виникає необхідність створення акумуляторних блоків для забезпечення необхідних параметрів джерел живлення. Окремі акумулятори з'єднуються між собою за допомогою металевих пластин, які точковим зварюванням приєднуються до кожного полюсу акумулятора. Якість контактних з'єднань при точковому зварюванні залежить від параметрів технологічного процесу, матеріалів з'єднувальних компонентів та геометрії наконечників електродів. Тому дослідження впливу варіацій параметрів режиму зварювання та інших чинників на характер формування точкового контакту є актуальними.

Мета роботи. Визначити характер впливу зміни параметрів технологічного процесу та геометрії наконечників електродів на якість формування контакту з'єднання при точковому зварюванні елементів батареї акумуляторів

Матеріали і результати досліджень. Основні стадії технологічного процесу виготовлення акумуляторних блоків представлені на рис.1.

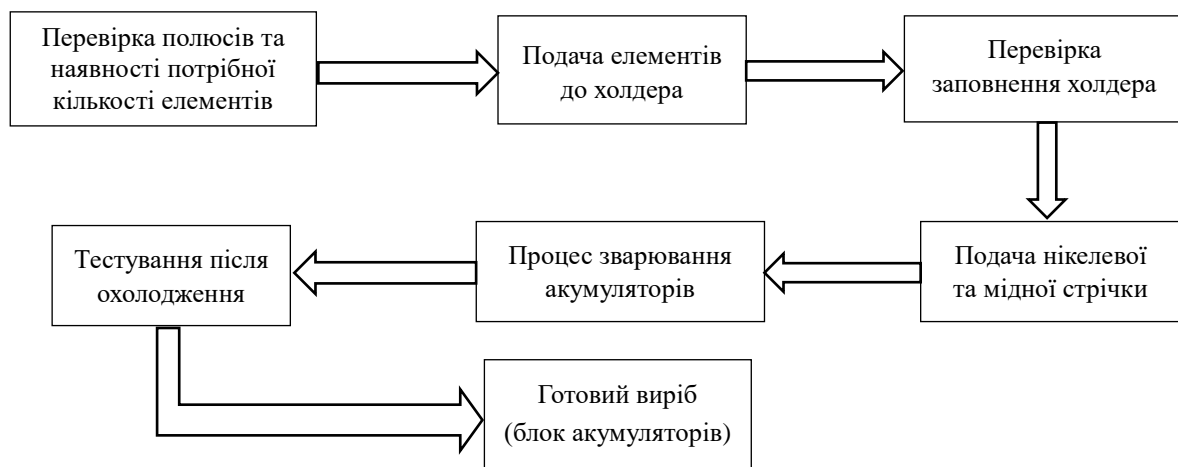


Рисунок 1 – Основні стадії технологічного процесу виготовлення акумуляторних блоків

Процес зварювання акумуляторів є основною стадією процесу виробництва акумуляторних блоків.

При виготовленні батарейного пакету багато акумуляторів повинні бути зібрані і підключені в послідовний або паралельний зв'язок. Для створення надійного контакту зварювальних деталей (поліосів окремих акумуляторів зі сполученою стрічкою) використовується їх точкове зварювання. Електроди, корпус акумулятора, сполучна пластина/вкладка є компонентами які безпосередньо задіяні у формуванні точкового контакту.

Кожний електрод виготовлений із міді, хрому та цирконію ($CuCrZr$) і використовується, як зварювальний матеріал для точкового зварювання деталей з нержавіючої сталі та нікелевих сплавів [1]

Акумуляторна батарея виконується із елементів Samsung INR18650, що спрощує ідентифікацію типу. З огляду на економічну ефективність і високу доступність на ринку нікельованої сталі, її підвид, зазвичай відомий, як *Hilumin*®, був спеціально розроблений для корпусів акумуляторів. *Hilumin*® є електролітично нікельованою сталлю[2].

Сполучну пластину/вкладку, що з'єднує полюси окремих акумуляторів можна зробити із *Hilumin*® або чистого нікелю. Ці матеріали є доступними на ринку [3].

Компоненти, що задіяні в процесі формування кожної точки зварювання представлені на рис. 2 та на рис. 3.



Рисунок 2 – Компоненти, що задіяні при формуванні точки зварювання

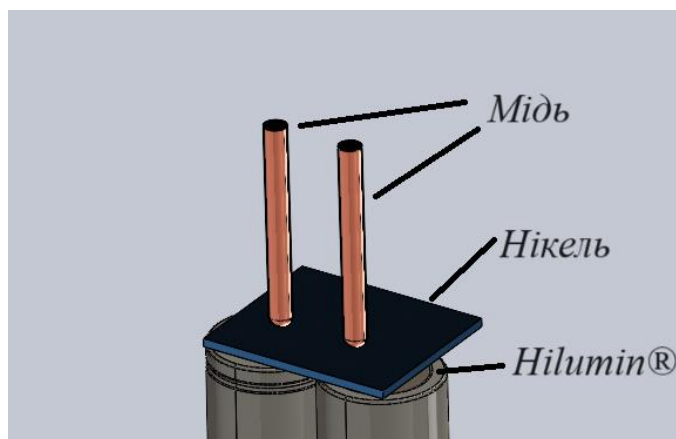


Рисунок 3 – Вигляд розміщення електродів з позитивної сторони та негативної сторони елемента

В роботі [4] послідовність розрахунку величин необхідних для визначення технологічних параметрів режиму зварювання представлена схематично на рис. 4. Процедура розрахунку реалізується у три етапи (кроки).

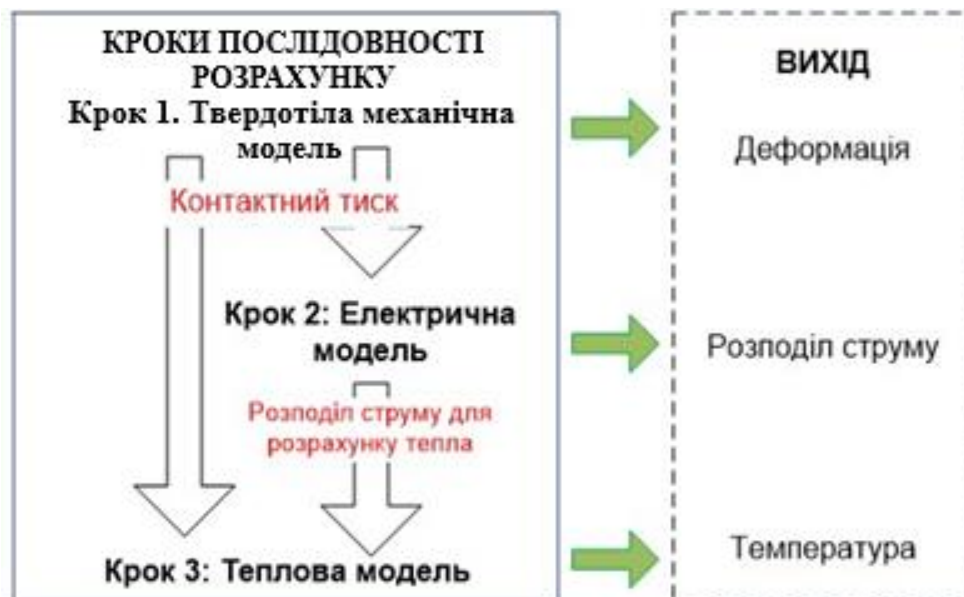


Рисунок 4 – Схема послідовності розрахунку величин необхідних для визначення технологічних параметрів режиму зварювання

Крок 1). Твердотіла механічна модель використовується для розрахунку контактного тиску між матеріалами (електрод – сполучна пластина) та (сполучна пластина – корпус батареї). Тиск визначається, як на позитивних, так і на негативних клемах. Отримані дані дозволяють розрахувати деформацію заготовок та механічну напругу в них [5].

На кроці 2) розраховується електропровідність контактної поверхні. За допомогою моделі визначається характер розподілу щільності струму всередині заготовок.

Дані, що отримані на кроці 2) використовуються, як вихідні дані для моделі теплового розрахунку (крок 3). Ці дані необхідні для розрахунку кількості тепла, що утворюється у зоні зварювання, та теплопровідності між контактами. Використання теплової моделі дає можливість отримати картину розподілу температури.

Як відомо, вибір технологічних параметрів процесу точкового зварювання залежить від геометрії наконечника електрода. Типові варіанти геометрії наконечника електрода представлені на рис. 5 [4].

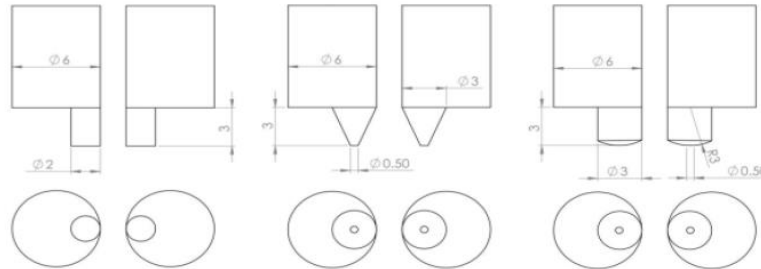


Рисунок 5 – Вигляд типових варіантів геометрії наконечників електродів

Для аналізу деформації, щільності електричного струму та розподілу температури на заготовках в залежності від геометрії наконечника електрода під час і після зварювання використовувались результати моделювання та експериментальні дані роботи [4]. Результат аналізу показав, що найменша ступінь деформації створюється циліндричним наконечником з суцільною поверхнею для контакту зварювання. Максимальна температура у зоні зварювання для наконечника такої форми є “приблизно” у два рази нижчою порівняно з максимальною температурою зони нагріву зварювання при використанні наконечників іншої форми.

Не менш важливою для оцінки ефективності і якості при точковому зварюванні є залежність деформації поверхонь полюсів акумуляторів та сполучної пластини/вставки від відстані між двома зварювальними електродами. Надмірна деформація заготовок не тільки означає більші пошкодження елементів батареї, але також може призвести до низької міцності зварювального контакту. Вигляд електродів, представлено зображеннями на рис. 6 [4].



Рисунок 6 – Вигляд електродів із відстанню між ними у 3.5 мм та 6,5 мм

За результатами експериментальних даних роботи [4] можна зробити висновок про те, що відбувається порівняно більша деформація для електродів з меншою відстанню кріплення між ними (3,5 мм). Логічним поясненням такої залежності є той факт, що площа поверхні охолодження між точками зварювання з меншою міжелектродною відстанню значно менша площі поверхні охолодження між точками зварювання з більшою міжелектродною відстанню. Саме розмір площі поверхні є одним з чинників, що визначає інтенсивність процесу охолодження [6]. Тому для однакових за часом, струмом зварювання та умовами охолодження температура у зоні зварювання між електродами з меншою міжелектродною відстанню буде більшою.

Крім того, при проведенні експериментів зі зварюванням для різних значень монтажної відстані між електродами виявилось, що відмінності в електричному опорі матеріалу з'єднувальних лапок для електродів з відстанями між ними у 3,5 мм і 6,5 мм є мінімальними [4]. Це підтверджує незначні зміни у потоці електричного струму між двома налаштуваннями.

Незважаючи на те, що невелика зміна відстані між електродами зварювання майже не впливає на величину електричного струму рекомендується для уникнення зайвої деформації розташовувати точки зварювання подалі від центру елемента батареї. Враховуючи необхідність мінімізації часу циклу обробки результатів для точкового зварювання в масовому виробництві, коли як позитивний, так і негативний термінали елементів батареї можуть бути послідовно зварені зі з'єднувальними лапками для створення батарейних блоків, бажано відстань кріплення електродів залишати незмінною (наприклад, на відстані 3,5 мм один від одного).

Візуалізація результатів для різних налаштувань тривалості часу зварювання представлена на рис. 7.

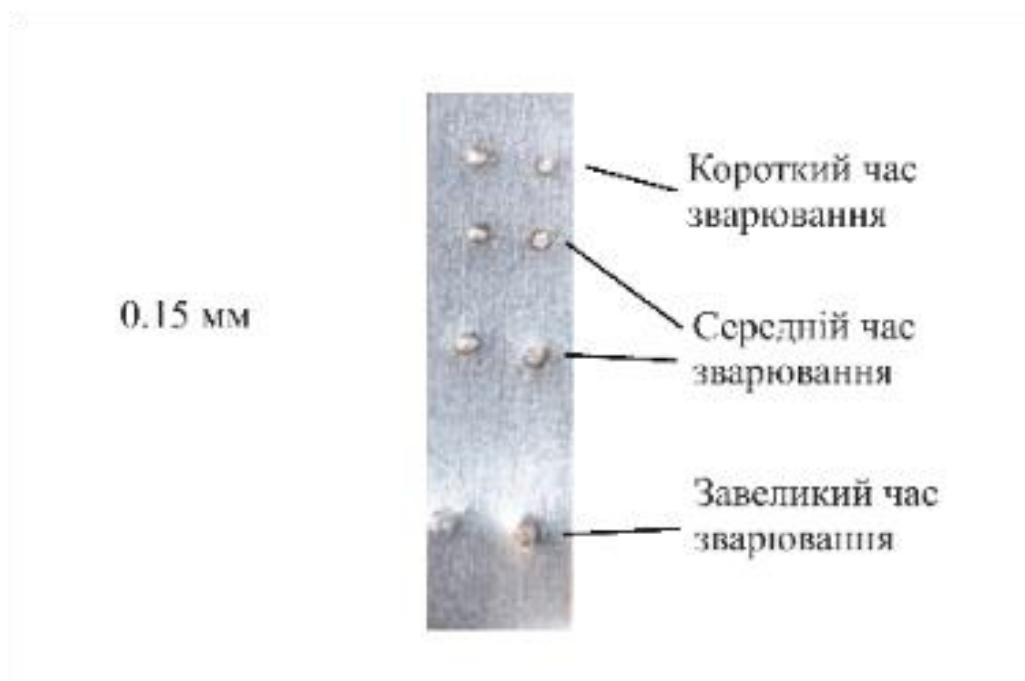


Рисунок 7 – Візуалізація зварних точок для різних налаштувань тривалості часу зварювання

На рис. 7 показано результати точкового зварювання пластин *Hilumin*® товщиною 0,1 мм і 0,3 мм із трьома різними налаштуваннями тривалості часу зварювання. Точкове зварювання з коротким часом зварювання може призвести до недостатньої деформації для формування якісного контакту. Навпаки, надмірний час зварювання може не тільки спричинити надлишкову деформацію, але й також може генерувати занадто багато тепла, що призводить до спалаху металу та прогару в середній зоні між двома зварювальними точками. Крім того, зварювання точки часом такої тривалості призводить до підвищеного зносу наконечників електродів.

Висновки. За результатами аналізу досліджень процесу точкового зварювання між *Hilumin*®/нікелевим з'єднувальним вкладишем і елементами літій-іонної батареї *Samsung INR18650* визначено характер впливу зміни технологічних параметрів процесу зварювання та різних конфігурацій геометрії наконечника електрода щодо відповідності вимогам надійності контакту та міцності з'єднання. Результати досліджень є підставою для розробки вузлів електротехнологічного комплексу зварювання по виготовленню блоків акумуляторів.

Перелік посилань

1. М. Дж. Бренд, П. А. Шмідт, М. Ф. Зає та А. Йоссен, "Методи зварювання елементів акумулятора та отриманий електричний контактний опір", Журнал енергозбереження, том 1, № 1, стор. 7-14, 2015.
2. Miyachi Europe GmbH, Загальні рекомендації щодо контактного зварювання. 2013.
3. Tata Steel Europe Limited, *Hilumin*® Ultra-Clean Nickelled Steel. 2013.
4. Parametric Study of Spot Welding between Li-ion Battery Cells and Sheet Metal Connectors. Manop Masomtob, Rawitat Sukondhasingha, Jan Becker, and Dirk Uwe Sauer. Engineering journal Volume 21 Issue 7, ISSN 0125-8281 (<http://www.engj.org/>) s. 457-473/
5. Miyachi Europe GmbH, "Betriebsanleitung mit Konformitätserklärung FD120 - F120", 2014.
6. В. О. Бржезицький, В. Ц. Зелінський, П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко Електричні апарати: підручник / [Бржезицький В. О., Зелінський В. Ц., Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є.]. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. – 602 с.