

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ

У відділі «Електричні процеси» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ (ІЕЗ), яким тривалий час керував академік В.К. Лебедев, досліджувалися, окрім інших, процеси розряду конденсаторів на навантаження у вигляді контактної опору (точкове, шовне та стикове конденсаторне зварювання) та дугового розряду.

Загальновідомий внесок В.К. Лебедева в аналіз електричних процесів, що протікають при точковому конденсаторному зварюванні, який було опубліковано у класичній роботі («Електрообладнання для контактної зварювання. Елементи теорії», М., 1969), написаної спільно з Б.Є. Патоном. Це стосується зарядки конденсаторів та їх розряду на зварювальний контур, електричного опору контакту та розтікання струму по пластинах, що зварюються. Згодом разом з І.В. Пентеговим, О.Д. Стемпковським та С.Н. Мещеряком їм вирішено питання, пов'язане з захистом тиристорів у розрядному ланцюзі конденсаторних машин від перевищення швидкості наростання струму при малому індуктивному навантаженні.

Ця робота дуже важлива для конденсаторних машин, що працюють за безтрансформаторним принципом. Такі машини цікаві тим, що дозволяють використовувати електролітичні конденсатори з відносно низькою напругою заряджання конденсаторів, що не потребує трансформації при передачі енергії до місця зварювання. Застосування таких конденсаторів дозволяє суттєво знизити масу зварювальних установок, зробити їх легко транспортабельними для застосування у позацевих умовах, наприклад, для приварювання різного роду кріплення, параметричних датчиків до металевих поверхонь експлуатованих конструкцій та споруд, а також суттєво підвищити електробезпеку обладнання.

Останнім часом інтерес до таких установок зростає у зв'язку з розробкою та масовим виготовленням так званих суперконденсаторів, що

мають високу питому енергоємність (Дж/см³ або Дж/г) і відносно (порівняно з акумуляторами) малим внутрішнім опором, тобто, великою потужністю розряду. Вже намічені та реалізуються два перспективні напрямки застосування суперконденсаторних зварювальних установок: машини для точкового зварювання роботами, в яких значно зменшено масу зварювального інструмента та, відповідно, навантаження на «руку» робота та обладнання для приварювання шпильок. Досвід ІЕЗ у застосуванні суперконденсаторів у зварювальній техніці використаний фірмою HBS Bolzenschweiss-Systeme GmbH & Co. KG (Німеччина) при створенні апарату Pegassar 500 Ассі для приварювання шпильок, що має ряд переваг у порівнянні з відомими пристроями того ж призначення.

Під керівництвом Володимира Костянтиновича було виконано великий обсяг робіт з дугових способів конденсаторного зварювання, до яких належать ударне конденсаторне зварювання (УКЗ), дугове конденсаторне зварювання (ДКЗ) та конденсаторне приварювання шпильок (рис. 1). Істотна відмінність між ними полягає в тому, що при УКЗ і конденсаторному приварюванні шпильок (КПШ) дуга горить між зварюваними деталями, а при ДКЗ – між електродом, що не плавиться, і виробом. Визначальним є також те, що з'єднання при УКЗ відбувається у твердій фазі, а при конденсаторному приварюванні шпильок – при спільній кристалізації розплавленого металу на кінці шпильки та на поверхні листа. Зазначені особливості визначають також відмінності в електричних параметрах процесу та в обладнанні, що реалізує технологічні вимоги. Природно, що В.К. Лебедев, будучи електриком за освітою, брав активну участь у постановці завдань та обговоренні результатів, включаючи конструктивні та технологічні аспекти.

Переваги ударного конденсаторного зварювання по з'єднанню практично необмеженого

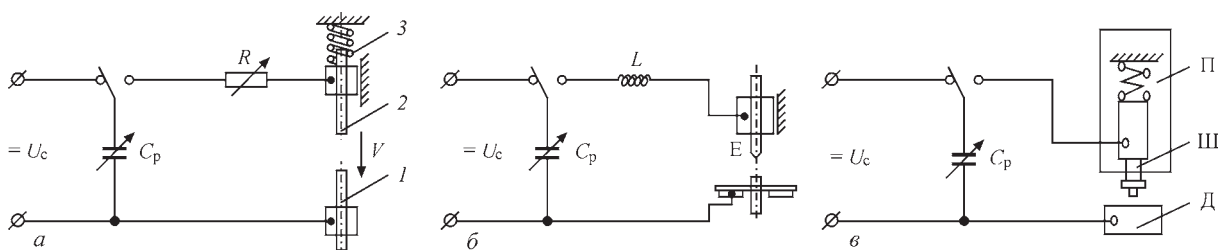


Рис. 1. Схеми процесів: а – УКЗ (U_c – джерело напруги зарядки конденсаторів, C_p – регульована енергетична ємність, R – активний опір управління величиною струму, 1 і 2 – деталі, що зварюються, 3 – пружина приводу зіткнення); б – ДКЗ (L – індуктивність, що згладжує, E – електрод); в – КПШ (П – зварювальний пістолет, Ш – шпилька, Д – деталь)

переліку металів в однорідному та різнорідному поєднанні відсували на другий план енергетичні характеристики процесу. Але не знаючи ККД, неможливо було аналізувати теплові явища при зварюванні та, відповідно, прогнозувати поведінку зони термічного впливу. Тому Володимир Костянтинівч доручив досліджувати величину реальних втрат енергії, накопиченої в конденсаторах, за їхнього розряду, на опір зварювального контуру. Вперше було виявлено, що ККД при ударному конденсаторному зварюванні становить одиниці відсотка і знижується зі збільшенням накопиченої енергії (рис. 2). Отримані результати були згодом розширені і на ДКЗ з тією відмінністю, що при дуговому конденсаторному зварюванні частина накопиченої енергії після гасіння дуги залишається в конденсаторах, а при УКЗ вся накопичена енергія повністю витрачається в дузі та замкнутому розрядному контурі.

Ці роботи мають фундаментальний характер, тому залишаються актуальними й в наш час, зокрема, при розробці устаткування для приварки шпильок нового покоління (рис. 3).

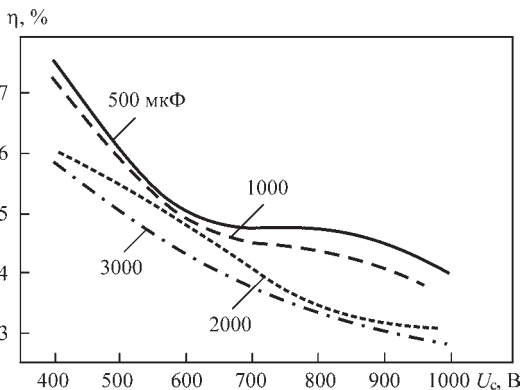


Рис. 2. Залежність енергетичного ККД при УКЗ від ємності та напруги U_c заряду конденсаторів

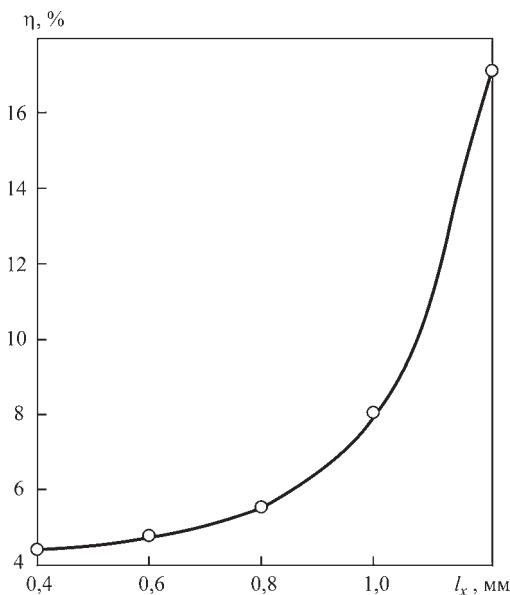


Рис. 3. Залежність енергетичного ККД при КПШ (0,1 Ф, 150 В) від довжини підпалювального виступу

Володимир Костянтинівч Лебедев ініціював роботи з конденсаторного приварювання шпильок. Хоча в цей час вже були закордонні публікації, але в Радянському Союзі вони розпочиналися з нуля. І участь В.К. Лебедева у створенні не тільки джерела розрядного струму, а й зварювального пістолета, зіграли вирішальну роль. Глибоке розуміння проблем технологічного характеру дозволяло успішно вирішувати і конкретні завдання впровадження розроблених установок.

Установка К-747 МВ (рис. 4) для приварювання шпильок діаметром 2...10 мм розроблена за безпосередньою участю В.К. Лебедева, запатентована в США, Японії, Німеччині та інших європейських країнах і серійно вироблялась на Сімферопольському електромашинобудівному заводі. Була єдиною у світі установкою, на якій можна було приварювати шпильки на відстані до 30 м, що представляє значну зручність при роботі на великих об'єктах, наприклад, у виробництві суден або при монтажі ізоляції на резервуарах великого обсягу.

Універсальність установки полягає також у можливості вести зварювання на чотирьох режимах: зі збудженням дуги тонким виступом, що вибухає, на приварюваному торці шпильки з попереднім зазором або контактом, зі збудженням дуги відривом шпильки і попереднім очищенням поверхні розрядом конденсаторів малої ємності в одному циклі зі зварюванням. Останній режим робить установку К-747 МВ єдиною у світі, що дозволяє міцно приварювати шпильки по окисдованій, забрудненій або з електропровідним покриттям поверхні без попередньої зачистки.

Робота зі створення обладнання та технології конденсаторного приварювання шпильок була комплексною. Одночасно з розробкою зварювального обладнання було створено також прилади для параметричного та акустичного контролю процесу. Така комплексність дозволила успішно впрова-

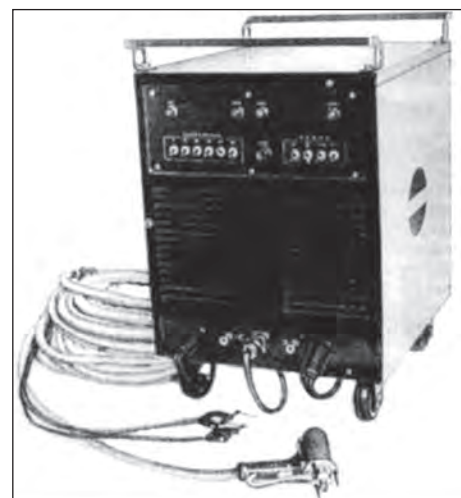


Рис. 4. Установка К-747

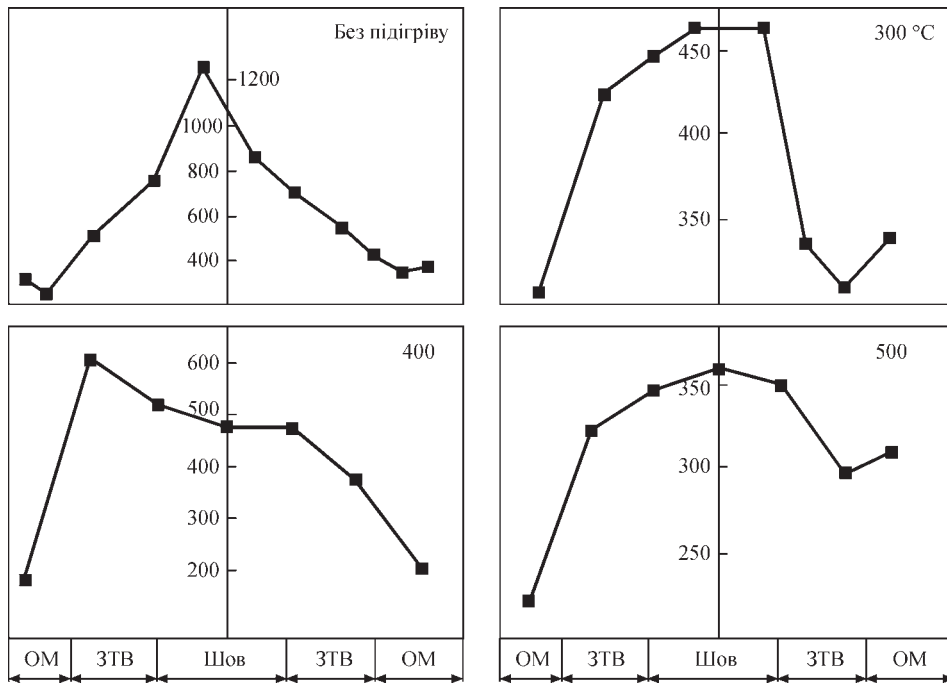


Рис. 5. Мікротвердість (HV) з'єднань шпильок М6 та смуги зі сталі 45. На графіках показана температура підігріву смуги

дити приварювання шпильок під час виготовлення космічних апаратів.

Як сказано вище, академік В.К. Лебедев не тільки керував і приймав рішення з питань, пов'язаних із розробкою зварювального обладнання, але й брав активну участь у технологічних експериментах.

Відомі проблеми зварювання з'єднань з високовуглецевими сталями, пов'язані з появою загартованих структур та підвищеною ймовірністю утворення тріщин.

Таврові з'єднання шпильок з деталями великого перерізу, масивними деталями або елементами конструкцій являють собою окремий клас зварних з'єднань з точки зору процесів нагрівання та охолодження, а також силових навантажень, що сприймаються ними. Інструкції з приварювання шпильок DVS (Німецького товариства зварників) та аналогічні їм в інших країнах не допускають застосування як основного металу сталі з вмістом вуглецю вище 0,22 %, а для шпильок – сталі з вмістом вуглецю більше 0,20 %. Однак у багатьох випадках існує необхідність приварювання шпильок до виробів з високим вмістом вуглецю.

В ІЕЗ вдалося показати, що всупереч загальноприйнятій думці, високопродуктивні способи торцевого приварювання шпильок дозволяють отримати бездефектні з'єднання з деталями із середньо- та високовуглецевих сталей, що витримують ударне навантаження. Для цього був потрібний попередній підігрів високовуглецевої сталі до більш високих температур, ніж це зазвичай прийнято при дуговому зварюванні (рис. 5). Водночас було зазначено можливість задовільного приварювання до високовуглецевої сталі шпильок із низь-

ковуглецевої та нержавіючої сталі, а також латунних шпильок.

Дослідження зварних з'єднань, отриманих з використанням дугового розряду конденсаторів, показало, що висока швидкість охолодження металу після зварювання, що перешкоджає зварюванню середньо- та високовуглецевих сталей, може бути корисною при локальному термічному зміцненні поверхні.

Під керівництвом В.К. Лебедева з урахуванням згаданого раніше апарату К747 МВ було створено спеціальну установку, яка використовувала один із варіантів збудження дуги, передбачених на цій установці, і виключала зіткнення електрода і оброблюваної деталі після закінчення розряду конденсаторів. Були внесені деякі інші зміни в розрядний контур.

На цій установці було проведено дослідження впливу енергетичних параметрів дугової обробки на ерозію поверхні оброблюваної деталі, глибину гарту, мікроструктуру зони термообробки. Було показано, що термічна обробка поверхні сталевих деталей дуговим розрядом конденсаторів дозволяє отримати локальні ділянки глибиною до 1 мм, що мають твердість до HV 1100.

Тут перераховані тільки ті роботи, результати яких було опубліковано. Але повсякденне спілкування з цією неординарною людиною народжувало розв'язання численних нетривіальних завдань, які ставила та ставить техніка. І така участь Володимира Костянтиновича Лебедева у роботах приводила, мабуть, до найбільшого ефекту.

Давид Калеко, к.т.н.,
співробітник ІЕЗ у 1959-2016 роках.