

## Внесок Інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона в ракетобудування, у виробництво ракетних конструкцій з алюмінієвих сплавів

*80 років тому відомий мостобудівник академік Є.О. Патон створив Інститут електрозварювання, який незабаром зайняв провідне місце в розвитку зварювання та родинних технологій. Понад 60 років під керівництвом академіка Б.Є.Патона вирішуються проблеми ракетно-космічної техніки. Для реалізації проектів С.П. Корольова й М.К. Янгеля, В.М. Челомея, В.П. Глушко та інших творців ракет і космічних апаратів уперше у світі розроблено необхідні наукоємні технології, зокрема техніку виготовлення відповідальних конструкцій з високоміцних алюмінієвих сплавів.*

### Організація робіт з ракетобудування

Із другої половини минулого століття ракети і ядерні заряди стали основною складовою гонки озброєнь, у якій провідну роль грали США та СРСР. У США роботи зі створення стратегічного ракетного озброєння розгортнулися наприкінці 1945 р. А 13 травня 1946 р. вийшла постанова Уряду СРСР №1017-419сс «Питання ракетного озброєння», відповідно до якої були утворені спеціальні НДІ, КБ, іспитові та дослідні центри, потужні заводи: НДІ-88 (з 1967 р. – ЦНДІМАШ) – головний НДІ реактивного озброєння; ОКБ-456 – з розробки маршових двигунів; ОКБ-692 – систем керування; НДІ-885 – автономних систем керування; НДІ-10 – гіроскопічних приладів; ДСКБ Спецмашина – стартових позицій тощо. Низкою наступних постанов (№4814-2095 від 4.12-1950г. і ін.) було визначено напрямки створення балістичних ракет і залучено до розробки й виробництва нові КБ, НДІ й заводи [1–5]. В умовах холодної війни, економічної й інформаційної блокади Радянський Союз повинен був самостійно відновлювати зруйновану й гіпертрофовану війною економіку, вирішувати проблеми нової техніки. Для досягнення паритету довелося одночасно витратити значні матеріальні засоби на створення новітнього озброєння. У СРСР, не знаючи про досягнення колег-супротивників, часто знаходили оригінальні прості розв'язки складних науково-технічних проблем.

© О.М. Корнієнко, 2014

Монопольне володіння США атомною зброєю незабаром було ліквідовано, але СРСР не мав ні військових баз поблизу країн НАТО, ні засобів доставки зброї на достатню відстань. Єдиною можливістю протистояти агресивним планам було створення ракет з великою дальністю польотів.

В ОКБ-1 (п/с В-2190), що було у складі НДІ-88 (п/с 1000, Підлипки-Калініград у Підмосков'ї, тепер м. Корольов) під керівництвом С.П. Корольова було створено ракети Р-1, Р-2 і Р-5. Через роботу ракет на рідкому паливі і кисні ємності з киснем обмерзали в будь-який час року, їх необхідно було поповнювати. Було потрібно сотні спеціальних алюмінієвих цистерн-термосів і резервуарів для компонентів ракетного палива. Однак відомі способи зварювання не забезпечували необхідної якості й не мали достатньої продуктивності для масового виготовлення конструкцій з листів товщиною 10–30мм.

Керівництво країни доручило Є.О.Патону розробити технологію і обладнання для виробництва цистерн. Створені в Інституті електрозварювання ще в передвоєнні роки устаткування й технологія дугового автоматичного зварювання під флюсом, що призначалися для сталей, у роки Великої Вітчизняної війни вперше у світі були застосовані для виготовлення бронеконструкцій з легованих сталей [6]. Але фізико-хімічні властивості алюмінію відрізнялися від

властивостей сталі, і автоматичного дугового зварювання під флюсом алюмінію ніде у світі не було. І все ж з метою прискорення виконання завдання в ІЕЗ пішли по шляху розвитку «сталеві» технології. У 1952 р. Д.М. Рабкіним було розроблено склад флюсу і процес зварювання плавким електродом алюмінію та його сплавів [7]. Цей спосіб одержав назву «зварювання по флюсу». Технологія відразу ж була застосована для серійного виготовлення залізничних цистерн на заводах м. Жданова (Маріуполь) і м. Нижнього Тагілу, баків – на заводі «Більшовик» (м.Київ). Вироби товщиною 18 мм із написом «Молоко» або «Нафта» та інші резервуари з потужною термоізоляцією були придатні для тривалого зберігання рідкого кисню й інших компонентів ракетного палива. Кілька років технологія зварювання по флюсу застосовувалася не тільки для виготовлення цистерн, але й у виробництві інших конструкцій з алюмінієвих сплавів. Так було розпочато діяльність ІЕЗ ім. Є.О. Патона в авіаракетної галузі [8].

Низкою урядових постанов ІЕЗ ім. Є.О.Патона було залучено до робіт з ракетної тематики. Незабаром було встановлено окремі напрямки розвитку технологій, обумовлені специфічними умовами функціонування та різними, але завжди високими, експлуатаційними вимогами, особливою надійністю. Треба було вирішувати проблеми виготовлення: 1) великих конструкцій (паливних баків, корпусів гіроскопів, боеголовок, ядерних двигунів і космічних літальних апаратів та ін.) з алюмінієвих сплавів; 2) ракетних реактивних двигунів з жаростійких сталей, біметалів; 3) балонів для стиснутих газів з титанових сплавів; 4) транспортних ядерних двигунів з біметалів, ніобієвих, цирконієвих, ванадієвих та ін. сплавів; 5) мікросхем керування функціями; 6) ролів керування польотами; 7) конструкцій та інших елементів сонячних батарей, телескопів тощо. Для виготовлення майже всіх складових ракетно-космічних комплексів необхідно було створювати нові надійні технології з'єднання, напилювання, наплавлення [9, 10].

Участь у виготовленні виробів усіляких КБ і підприємств стала одним з основних завдань колективу під керівництвом Б.Є. Патона. Необхідно зазна-

чити, що в серпні 1954 р. вийшла постановова про створення самостійного ОКБ №586 (п/с В-2289); головним конструктором призначався М.К. Янгель [11, 12]. Створюючи нове ракетне КБ, керівництво країни припиняло монополію Корольова й ставило перед Янгелем завдання розробити бойові ракети далекої дії [1, 13]. КБ-1 і завод «Прогрес» у Куйбишеві (С.П. Корольова) і завод №586 – Південний машинобудівний завод разом із КБ № 586 – КБ «Південне» у Дніпропетровську (М.К. Янгеля) стали найближчими полігонами для відпрацювання й припасування нових технологій.



Б.Є. Патон

Відповідно до принципу «від ідеї до впровадження», Б.Є. Патон організував у інституті багаторівневу структуру відділів і інших підрозділів, зв'язаних конкретними завданнями ракетобудування. Відділи нових процесів, дугового, контактного, електронного й дифузійного зварювання, зварювання вибухом, джерел живлення, зварених конструкцій, автоматизації процесів зварювання, контролю якості й інші виконували фундаментальні дослідження і створювали наукові основи для технологічних і конструкторських відділів. Відділи зварювання спеціальних сталей, алюмінієвих, титанових сплавів та інших металів розробляли конкретні технології й до-

сліджували особливості застосування нових матеріалів. Зразки спеціального устаткування, розроблювального конструкторськими відділами, виготовлялися в майстернях і на дослідному заводі інституту. Більш того, на деяких базових підприємствах групи досвідчених фахівців інституту зайнялися проблемами виготовлення ракет-носіїв і космічних апаратів разом із місцевими фахівцями. (Така організація науково-практичних робіт з дослідження й пошуку оптимальних технологій безпосередньо на місцях ракетобудування була подібна до тієї, що встановив Є.О. Патон у роки війни на танковому заводі і що дала можливість швидко розробити і впровадити автоматичне зварювання) [14.]

З великого списку робіт для виготовлення несучих конструкцій ракет з алюмінієвих сплавів, якими займалися науковці інституту під керівництвом Б.Є. Патона, можна виокремити наступні основні напрямки: 1. Комплексні дослідження природи зварювання та паяння і створення на їх основі високопродуктивних технологій з'єднання матеріалів; розробка високоефективних зварювальних матеріалів, технологій та устаткування для їх виробництва; науково-дослідні та прикладні роботи зі зварювання в космосі. 2. Дослідження міцності, надійності та довговічності зварних з'єднань і конструкцій, розробка основ проектування та комплексно-

го механізованого виробництва зварних конструкцій. 3. Дослідження та розробка систем діагностики несучої здатності зварних конструкцій; прилади та методи неруйнівного контролю. 4. Розробка джерел живлення з покращеними характеристиками; автоматизація зварних процесів; розробка нових систем слідкування за технологічним процесом.

Науково-технічні й організаційні проблеми по всіх роботах Б.Є. Патон вирішував оперативні й ретельно контролював хід робіт. З питань ракетобудування тільки впродовж 1960-х років він провів понад 700 нарад у президії АН УРСР і ІЕЗ ім. Є.О. Патона, неодноразово зустрічався з керівниками міністерств і підприємств, з головними конструкторами й замовниками. По телефону і при особистих зустрічах Б.Є. Патона з С.П. Корольовим, М.К. Янгелем, В.М. Челомеем, О.М. Макаровим, В.Ф. Уткіним, В.П. Макеєвим, М.О. Пилюгіним, В.І. Кузнецовим, С.М. Конюховим та ін. конструкторами і керівниками конструкторських бюро, інститутів і заводів вирішувалися принципові стратегічні питання ракетобудування.

На замовлення ракетників в ІЕЗ виконано десятки пошукових науководослідних тем і вирішено проблеми з забезпечення якості зварювання й пайки всіх вузлів, контролю якості виготовлення, ремонту дефектів [9].

### **Вимоги ракетобудування, що стимулювали розвиток дугового зварювання**

На початку 1950-х рр. при зварюванні несучих конструкцій і паливних баків ракет заводи Радянського Союзу переходять на аргонодугові процеси, оскільки зварювання по шару флюсу не задовольняло підвищеним вимогам до з'єднань. Використання термічно зміцнених і нагартованих сплавів алюмінію вимагало застосування способів зварювання концентрованими джерелами нагрівання, які забезпечують достатню глибину проплавлення при порівняно малому тепловкладенні. Почався пошук способів підвищення концентрації енергії дуги, управління процесами плавлення електродного металу і зварювальної ванни.

М.К. Янгель вважав, що міжконтинентальні стратегічні ракети повинні бути рідинними на висококиплячих компо-

нентах палива, щоб забезпечити тривале перебування в заправленому стані, виключити на стартовій позиції великі, практично промислові, установки для поновлення запасів криогенних компонентів палива. Однак для реалізації цих задумів необхідно було забезпечити абсолютно герметичні нерознімні зварені й рознімні з'єднання. Ракети повинні витримувати високе однократне пікове навантаження, але маса без вантажу й палива повинна бути мінімально можливою [10, 12].

Із середини 1960-х рр. при виготовленні корпусних конструкцій ракетних комплексів використовувалося імпульсно-дугове зварювання плавким електродом.

Для прискорення впровадження технологій у ракетобудування Б.Є. Патон

створив спеціальний відділ, керівник якого Б.А. Стебловський був наділений правами підписувати відповідальні документи. Виробничі іспити, корегування параметрів режиму зварювання, інші науково-технологічні питання вирішувалися в лабораторіях і цехах Південного машинобудівного й Оренбурзького заводів, заводу «Прогрес», у Ленінському (Байконурі) тощо. Директор систематично контролював виконання планів і оперативно вирішував проблемні питання [15].

Для з'єднання товстостінних конструкцій із плит, фасонних профілів алюмінієвих сплавів АМг6 і 1201 розроблено технологію зварювання заготівель з вузькощілевим обробленням крайок імпульсною й стаціонарною дугою плавким електродом у гелії і його сумішах з аргоном. Ця технологія була успішно реалізована при виготовленні ємностей на Балашихінському ПО «Кріогенмаш», потоковому виробництві алюмінієвих котлів, залізничних цистерн і корпусних елементів ракет на ПО «Азовмаш» та інших підприємствах [16, 17].

Особливо плідне співробітництво склалося з ОКБ-1 С.П. Корольова вже з початку 1960-х рр. Наприкінці цих років у СРСР інтенсивно розроблялися нові високоміцні алюмінієві сплави, основною умовою зварювання стало зниження зони розміщення. З'явилася також необхідність виконувати зварювання з'єднань великої товщини. Існуючі тоді способи зварювання не забезпечували необхідної якості. В ІЕЗ тривали дослідження з удосконалювання дугового зварювання. Найбільш високої концентрації енергії вдалося досягти при зварюванні вольфрамовим електродом у гелії (ГДЗ) [18]. На заводі «Прогрес» для виготовлення паливних баків космічного комплексу «Буран» зі сплаву 1201 товщиною 10–12 мм було застосовано ГДЗ [19]. Вдалося досягти високої пластичності з'єднань при криогенних температурах.

Необхідність підвищення якості з'єднань традиційних і нових високоміцних сплавів алюмінію з літєм, чутливих до термічного циклу й схильних до утворення дефектів у швах, викликала потребу подальшого вдосконалювання технологій з'єднання. Виходячи з вимоги максимального зменшення зони термічного впливу, найбільш перспективним вва-

жався процес електронно-променевого зварювання. Однак на початку 1960-х років у країні не було камер з обсягом, достатнім для розміщення великогабаритних конструкцій, тому одночасно з посиленням пошуком у галузі електронно-променевого зварювання продовжувалися дослідження дугових процесів. Було створено вперше в світі плазмове зварювання дугою перемінного струму [21].

Прикладом можуть служити деякі з протоколів нарад 1963-1964 рр., що стосуються розгортання плазмового зварювання (цитуються в скороченні): «Протокол №331 від 27.08.63г. «Розгляд ескізного проекту переробки зварювального трактора ТС-35П для зварювання плазмовою дугою. Вирішили: Роботу з виконання постанови за №1200 визнати доцільним розділити на 2 етапи: а) На першому етапі виконати переробку зварювального трактора АДСВ-2 для зварювання плазмовою дугою ... б) Після виробничих випробувань АДСВ-2 приступити до переробки зварювального трактора ТС-35П, згідно розглянутого ескізного проекту». Протокол №344 від 7.09.63г. «Про хід робіт на заводі «Прогрес». Взяти до відома інформацію т.т. Рабкіна, Стебловського й Рябова про успішне закінчення першого етапу робіт і узгодженні розроблених рекомендацій з організацією п/я 658» [20].

Концентрований плазмово-газовий потік при розробленому в ІЕЗ процесі проплавляє метал на повну товщину з'єднання, і ця особливість процесу забезпечила високоякісні шви навіть на виробках, які збираються з технологічним буртом (наприклад, вварювання люків). До того ж, висока концентрація тепла сприяла значному зменшенню зони термічного впливу, а відтак зменшенню зони розміщення й величини деформацій і напруг. Ще одна особливість процесу – наскрізне проплавлення було використано у формуванні й утриманні рідкого металу від витікання спеціальною вольфрамовою сіткою – підкладкою. Завдяки цій підкладці і значному зменшенню маси зварювальної ванни, розплавлений метал утримувався у ванні навіть при зварюванні у стільниковому положенні (тобто при перевернутій ванні) [22]. У 1970-х рр. співробітники ІЕЗ (Б.А. Стебловський, О.М. Корнієнко) разом зі співробітниками КБП (Г.М. Воронов, О.С. Кузьменко

та ін.) розробили технологію зварювання неповоротних стикових швів трубопроводів ракетних систем [23]. Це була завершальна технологія, що здійснила завдання М.К. Янгеля створити „ампулізацію” ракет-носіїв [24].

На ракетах другого покоління всі заправні магістралі виводилися на нижній торець ракети, дренажні магістралі першого й другого шабля – на відповідні перехідники. Усі деталі заправно-зливальних магістралей живлення двигунів ракети виконано звареними, за винятком чотирьох мембранних заглушок. Поділ ступенів передбачалося здійснювати ходом ракети. Успіх був закріплений наказом ГК по оборонній техніці від 12.01. 1965 р. «Про розгортання робіт з ампулізації міжконтинентального ракетного комплексу Р-36 балістичної (8 К67, SS-9) і Р-36 орбітальної (8 К69)». (Стартова вага ракети – 181 т, повна довжина – 32,5 м, діаметр корпусу – 3,0 м.) [13]. Завдяки високій якості зварених з’єднань баків зі сплаву АМГб, було забезпечено їх надійну герметизацію, і ця ракета могла знаходитись на чергуванні в заправленому стані до 10 років [1]. Про високу якість виготовлення ракетно-космічної техніки можна судити хоча б з такого факту: з 43 пусків РС-20 (до 1997 р.) було лише шість аварійних, причому не викликаних порушенням герметичності. 17 квітня 1997 р. на Байконурі здійснено успішний запуск РС-20, що простояв на чергуванні 19 років [1].

Директор Південного машинобудівного заводу (Південмаш, Дніпропетровськ) А.А. Макаров відзначав: «Долговременное (5 лет по требованиям техзадания) боевое дежурство ракеты в заправленном состоянии при самовоспламеняющихся компонентах топлива требовало полной герметичности при на-

личии более чем нескольких десятков разъемных соединений на всех ступенях ракеты. Малейшая негерметичность приводила к появлению в шахтной пусковой установке агрессивных паров, которые быстро повреждали кабели, приборы и многие важные элементы ракеты. Несколько увеличенная негерметичность могла привести к самовоспламенению паров компонентов, а это – авария с огромными материальными и экологическими последствиями. Как было установлено позже, топлива, применяемые в ракете, кроме токсичности и высокой химической активности, обладали еще и высокой капиллярной проницаемостью своих паров. Над исключением негерметичности лучшие научные и исследовательские силы Союза работали почти два года, шаг за шагом преодолевая проблему. Совместно с Институтом электросварки им. Е.О.Патона были созданы специальные сварочные аппараты для сварки стыков трубопроводов вращающимся электродом на собранной ракете. Для этого в цехе главной сборки был организован сварочный участок, что многим по соображениям чистоты (где все работали в белых халатах и два раза в день проводилась влажная уборка) и безопасности представлялось совершенно неприемлемым» [11].

Своєрідна перевірка на герметичність відбулася 1969 р. У випробувальному підрозділі пропарили бак після випробування паливом і випадково щільно закрили заглушку. До ранку після остигання паро-повітряної суміші бак з товщиною стінок 12 мм був повністю зім’ятий. На нараді, коли роздавалися догани, М.К. Янгель з деяким гумором підкреслив особливу „провину саме патонівців – зварні з’єднання були абсолютно бездоганні – герметичні й міцні [24].

### Контактне зварювання, що вразило делегацію НАСА

Одним з ефективних видів зварювання, процес якого дозволяє повну автоматизацію, а відтак і гарантувати якість з’єднання, є контактне стикове зварювання. Перший спосіб і відповідне обладнання було створено Е. Томсоном у США у 1885 р. Цей спосіб удосконалювався досить швидко. У 1890 р. фірма «Томсон-Хьюстон» мала 100 патентів. У наступні кілька років Е. Томсон працю-

вав ще інтенсивніше, створюючи спеціалізовані машини для зварювання стрічок і прутків у процесі прокатки, для зварювання ланцюгів, велосипедних колес тощо. Було розроблено технологію стикового зварювання не тільки заліза і сталі, але й алюмінію, свинцю, цинку й олова. Роботи в галузі стикового зварювання були розгорнуті й іншими американськими винахідниками. До 1910 р. спосіб

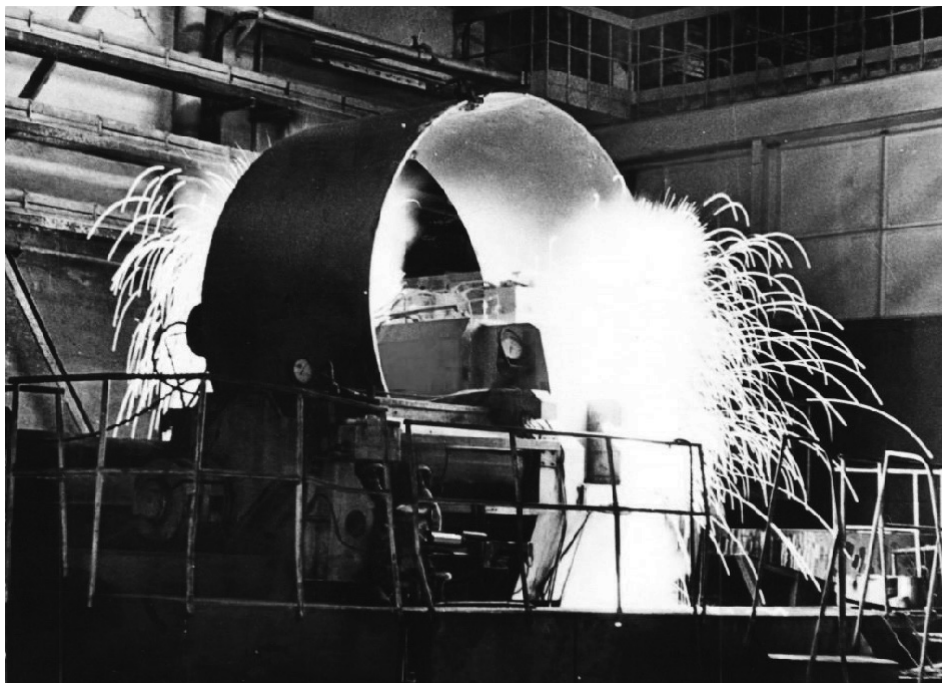
Томсона використовували, крім США, у низці країн Західної Європи.

Великого поширення контактне зварювання одержало в 1920-х рр. при великосерійному виробництві автомобілів, побутової техніки, сільськогосподарського інвентарю і продовжувало удосконалюватися. Воно була прийнято в металургійних цехах як допоміжна операція в безупинному циклі прокатки прутків і смуг [25]. У СРСР контактним зварюванням займалися в деяких вузах і галузевих НДІ.

Наприкінці 1940-х років Є.О. Патон вирішив, що такий вид зварювання необхідно застосувати при будівництві трубопроводів. Розробка в ІЕЗ вперше у світі кільцевого трансформатора (М.Г. Остапенко, В.К. Лебедев, М.Д. Литвинчук, С.І. Кучук-Яценко та ін.) відкрила широку дорогу контактному зварюванню безперервним оплавленням стиків труб магістральних трубопроводів великого діаметру, зварки труб і рейок в польових умовах, що є одним з найбільших світових досягнень в галузі контактного зварювання. ІЕЗ ім. Є.О. Патона продовжував займати провідне місце при будівни-

цтві трубопроводів у різних кліматичних зонах, у тому числі в умовах Крайньої Півночі. Найбільші фірми розвинутих капіталістичних країн, включаючи США, придбали ліцензії на технологію й устаткування для контактної зварки. У наступні роки було розроблено й впроваджено контактне стикове зварювання прокату великого перерізу, нову технологію підводного зварювання оплавленням морських трубопроводів, стикове зварювання конструкцій зі сплавів на основі алюмінію, магнію, титану, нержавіючих і жароміцних сталей тощо (С.І. Кучук-Яценко).

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона для виробів ракетно-космічної техніки зі сплавів на основі алюмінію, магнію, титану, нержавіючих і жароміцних сталей, у тому числі обручок з пресованих профілів, плит і поковок високоміцних алюмінієвих сплавів діаметром понад 500 мм, листів шириною до 2000 мм, товщиною до 50 мм було спеціально розроблено контактне зварювання. Нові технології й устаткування для виготовлення обручок, що є елементами корпусів і двигунів, впроваджено на ПМЗ в 1970-х рр.



**Контактне зварювання конструкцій паливного баку  
(ВО «Південний машинобудівний завод»).**

Особливе значення для вдосконалення відповідальних конструкцій має технологія стикового контактного зварювання композитних матеріалів з високим термічним ККД, малими припусками і сполученням різних матеріалів [26]. В ІЕЗ ім. Є.О. Патона під керівництвом академіка С.І. Кучука-Яценка розроблено й застосовано в промисловому виробництві технології зварювання крупнокорпусних конструкцій і паливних баків ракет [27].

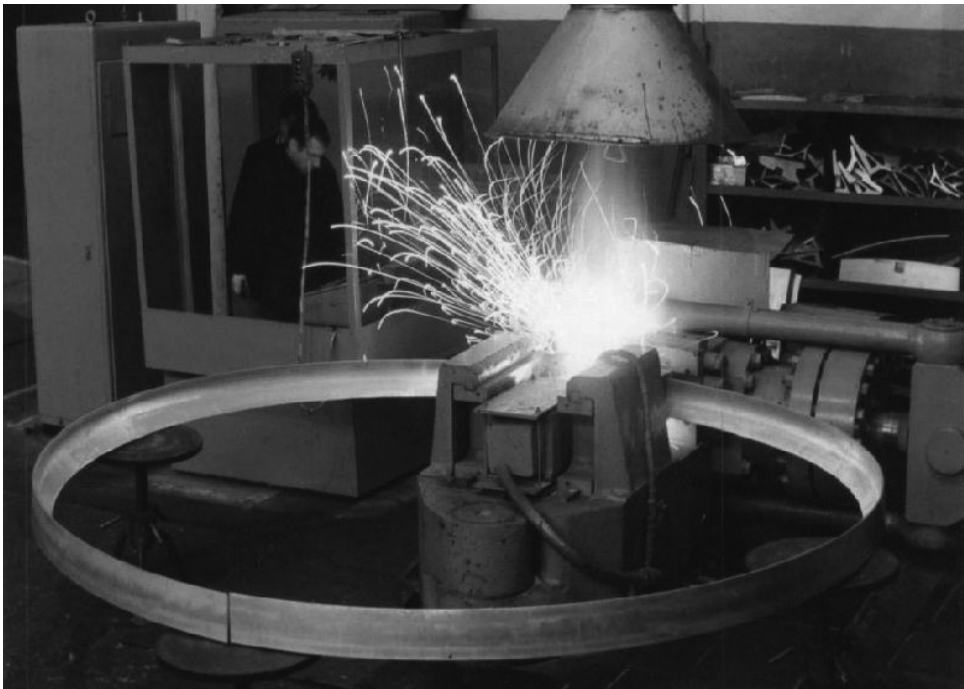
С.А. Афанасьєв (міністр загального машинобудування СРСР і важкого машинобудування СРСР), що багато років керував ракетобудівною галуззю, згадує:

«Ракетні комплекси стратегічного призначення (РКСП) створені в нашій країні із застосуванням великого обсягу електрозварювальних робіт. Головною організацією, що розробляла й впроваджувала все різноманіття електрозварювальних робіт був український Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, директором якого є Борис Євгенович Патон. Він особисто керував розробкою й впровадженням новітніх технологічних процесів електрозварювання на Дніпропетровському Південному машинобудівному заводі.

Розроблявся й чітко виконувався план спільних робіт Інституту електрозварювання, КБЮ (Конструкторське бюро «Південне»), заводу «Південмаш» – по кожній ракеті. Важливо, що була відпрацьована система: НДР – ОКР – серія.

НДР – розшукові роботи, що забезпечують міцність основного шва й біляшовної зони при тривалому стоянні ракет на бойовому чергуванні, вібраціях і теплових навантаженнях при пуску. ОКР – створення технологічного, нестандартного контрольного устаткування, його виготовлення й випробування. Серія – передача за актом Південмашу на серійне виробництво технологічного устаткування й процесів. Така система себе виправдала й була застосована при роботі з іншими організаціями. При контактному зварюванні шпангоутів міцність зварного шва й основного металу практично була близькою (ракета «Протон»). Американці, будучи на цьому заводі, коли підійшли до цеху зварювання, почали раптом робити замальовки й записи у своїх книжках. Коли їх запитали: – Що вас зацікавило? – Відповіли: – Це грандіозно, у нас такого немає!

Колосальна заслуга Бориса Євгеновича Патона в тім, що жодна ракета, з тих, які стоять на бойовому чергуванні – не потекла, у тому числі й ракети «Сатана» Р-36.



Контактне зварювання шпангоута паливного баку

Так був створений ракетно-ядерний щит нашої Батьківщини.

Перший секретар ЦК КПРС М.С. Хрущов, що відвідав Південмаш, характеризує рівень технології та організації ракетного виробництва, сказав, щоб устрахати Захід, що ми робимо ракети як сосиски.

З електрозварювання ракетно-космічна галузь країни пішла далеко вперед, і це заслуга талановитого вченого, директора Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, президента Академії наук України, чудової, дуже простої людини, з яким приємно працювати. Б.Є.Патону зобов'язана вся Росія!». [28, с.144].

Ось як розповідає про роботу над цією ракетною технологією В.О. Андреев, академік Російської Академії космонавтики ім. К.Е. Ціолковського, що був головним інженером заводу:

«До світових лідерів з виробництва ракетно-космічної техніки, безперечно, відноситься українське підприємство Виробниче об'єднання «Південний машинобудівний завод» ім. М.К. Янгеля (КБП). Весь час створення і становлення цієї нової складної техніки Південмаш і КБП відрізняли високий рівень технологій, використання новітніх матеріалів, тісне співробітництво з вітчизняною наукою, власні науково-технічні розробки.

Зварювальне виробництво в ракетобудуванні — одна з найважливіших технологічних границь. Тут розв'язуються питання, що визначають міцність, герметичність, експлуатаційну надійність, економічність літальних апаратів. Нові науково-технічні проблеми в кожному поколінні ракет вимагали постійного підвищення рівня технологій і устаткування. У ході їх рішення склалася справжня творча дружба інженерів Південмашу й КБП із ученими Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона Академії наук України. Повне взаєморозуміння й відповідальний державний підхід до завдань на рівні перших керівників підприємств генерального директора Олександра Максимовича Макарова, академіка Михайла Кузьмича Янгеля, а також академіка Володимира Федоровича Уткіна й директора інституту академіка Бориса Євгеновича Патона, стали гарним прикладом і основою для успішного співробітництва фахівців. Це сприяло тому, що по технічному рівню зварювальних технологій і зварених конструкцій виробу Південмашу й КБП займали самі передові позиції, а в низці випадків інженерні рішення, реалізовані в них, не повторено у світовій практиці будівництва ракет дотепер. Приведу один з таких прикладів.

Напружені 60-ті роки. Створюються нові важкі міжконтинентальні балістичні ракети на



**Б.Є. Патон демонструє керівництву країни панель обечайки, виготовленої із застосуванням електронно-променевого зварювання (ЕЗ ім. Е.О. Патона, 25.06.1985 р.).**



рідких компонентах палив (за західною умовною класифікацією, «Сатана»). Загострено проблеми герметичності й надійності паливних систем ракет в умовах підвищеного строку експлуатації у заправленому стані. Паливні баки ракет – великогабаритні зварені посудини з алюмінієвих сплавів, яким властиві відомі проблеми зварювання. Одним з основних напрямків підвищення стабільності якості, виключення суб'єктивних негативних факторів є механізація й автоматизація виробничих процесів. Творчою працею інженерів-зварників і робітників до початку серійного виробництва ракет удалося освоїти механізовані способи зварювання всіх зварених швів баків, що визначають герметичність, крім одного – на стиках шпангоутів, відповідальних конструктивних елементів, виконуваних ручним аргонодуговим зварюванням. Уже до цього часу був факт появи негерметичності на експлуатованій ракеті на одному з таких швів.

До кінця 1967 року після приблизно дворічної кропіткої творчої праці технологія контактного стикового зварювання шпангоутів ракет спільними зусиллями була освоєна у виробництві Південмаша. Зварено перші великогабаритні деталі. Наступив відповідальний етап ухвалення рішення, що і спонукало автора цієї розповіді згадати й викласти момент істини. Це було не просте рішення. Воно було складним для генерального конструктора й представника замовника, оскільки ракета перебувала фактично вже в серійному виробництві. Воно було не простим для заводу й Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, оскільки потрібно було мати абсолютну впевненість, що нововведення, що має очевидні переваги, повністю відпрацьовано у виробництві, усе в ньому вивчено, надійно й протягом довгого років в експлуатації не виникнуть ніякі непередбачені ситуації. Наріжним з документів, що поставили крапки в цьому рішенні, з'явився відповідальний висновок академіка Б.Є. Патона, що дало відповідної гарантії. Із цього моменту почалася нова епоха у виробництві зварених корпусів ракет на Південмаші. «Повезло» цій технології, повезло фахівцям заводу й інституту, які багато років свого творчого життя віддали їй. «Повезло» ракетам, які стали одними із самих надійних ракет у світі. Зараз, підбиваючи підсумок, доречно сказати: за цим «везінням» стоять живі, шукаючі, творчі люди на чолі з талановитим і сміливим ученим – Борисом Євгеновичем Патonom.

Це був тільки початок входження технології контактного стикового зварювання в ракетно- і авіабудуванні. Разом з Південмашем вона була освоєна на декількох провідних підприємствах галузі. У наступних поколіннях ракет шпангоути на Південмаші виготовлялись уже тільки за цією технологією. На СС-18 («Сатана» нового покоління) застосований

унікальний по конструкції штампо-зварний шпангоут подібного сімейства.

До середини 70-х років в ІЕЗ ім. Є.О.Патона, на Південмаше, у КБП і у галузі нагромадили великий науковий і практичний досвід застосування цієї технології. Наступив період формування технологічних рішень для нового (останнього в історії) покоління ракет СС-18. Група інженерів заводу й інституту вийшла з новою ідеєю – поширити технологію контактного стикового зварювання на поздовжні шви обичайок, забезпечуючи практично рівномірність їх зі зміщеним нагартовкою основним металом. Тільки фахівці із проектування й виробництва відповідальних емностей, що працюють під тиском агресивних продуктів і екстремальних умов польотів, можуть оцінити сміливість і ефективність цієї пропозиції.

Мені довелося бути учасником технічного обговорення цієї ідеї в Б.Є. Патона. Наша пропозиція була підтримана, хоча всі розуміли наскільки вона відповідальна, складна у здійсненні. По суті для забезпечення міцнісних, а отже, вагових характеристик корпусів ракет пропонувалося зовсім нове рішення. У винахідництві такі кроки прийнято називати піонерськими. Але знадобилися й відповідні нові підходи в розробці й створенні стикозварювальної машини (згодом їй привласнено індекс К-767), нові рішення в енергетичному забезпеченні процесу. А головне було в тім, що цей, пов'язаний з ризиком крок, був тільки першим на шляху створення нової могутнішої ракети.

Знову й знову в кабінеті академіка Б.Є. Патона розглядалися й приймалися відповідальні рішення. У результаті напруженої роботи колективу заводу й інституту завдання було вирішено!

Це була величезна перемога. Завдяки підвищенню конструктивної міцності й надійності, різкому підвищенню продуктивності праці був отриманий великий технічний і економічний ефект. Робота одержала високу оцінку уряду, її автори були визнані гідними звань Лауреатів Державної премії СРСР і одержали її в Президії Академії наук України в м. Києві з рук Бориса Євгеновича Патона” [28, с.149–142].

У середині 1980-х років, коли М.С.Горбачов організував „обмін” секретною інформацією, колеги зі Сполучених Штатів Америки визнали, що ІЕЗ вдалося вперше в світі створити перспективні процеси і обладнання. Дотепер технологія й устаткування контактного стикового зварювання обичайок ракет є безпрецедентними й користуються величезною увагою й повагою фахівців ракетобудівних компаній усього світу.

### Електронний промінь підкорюється фахівцям ІЕЗ ім. Є.О.Патона

У 1957–1958 рр. у Франції (Д.А.Стор), США (В.Л.Вімен), Німеччини (К.Х. Штейгервальд), а також у СРСР, розвернулися дослідження з використання для зварювання електронного променя. В ІЕЗ ім. Є.О. Патона виконувалися дослідження характеристик електронних променів, визначалася можливість формування потужних променів. Вивчалися особливості роботи високовольтних джерел живлення, систем стабілізації режиму зварювання й керування променем. Створення електронно-променевого зварювання (ЕПЗ) просувалося швидкими темпами. Одним з основних замовників нових високих технологій були ракетники. Відповідну Постанову Ради Міністрів СРСР №1210 прийнято 07.12.1963 р, а вже 27.02.1964 р. протоколом №117 директор ІЕЗ доручив «розробити великогабаритну апаратуру з виводом електронного пучка в атмосферу відповідно до техзавдань п/я1000 і п/я186» (тобто С.П.Корольова і Южмашзавода М.К. Янгеля). Створювати нові виробничі технології Б.Є. Патон доручив О.К. Назаренку, а устаткування – конструкторському відділу А.І. Некрасова [29].

Реалізація унікальних технологічних можливостей ЕПЗ залежала від «забезпечення» вакуумом (близько 10–14мм рт. ст.). Однак на початку 1960-х рр. у країні не було камер з обсягом, достатнім для розміщення великогабаритних конструкцій. В ІЕЗ і низці інших організацій займалися створенням вакууму в локальному обсязі, розроблялися відповідні пушки. Вирішення цих проблем форсував Борис Євгенович, регулярно розглядаючи їх на нарадах:

*Протокол наради в директора № 63 від 11.02.64. «Про розвиток електронно-променевого зварювання з накидними й крокуючими камерами: Підготувати техзавдання на проектування установок із крокуючою камерою для плоских виробів; для шпангоутів з накидними камерами; для точкової ЕПЗ із місцевими ущільненнями».*

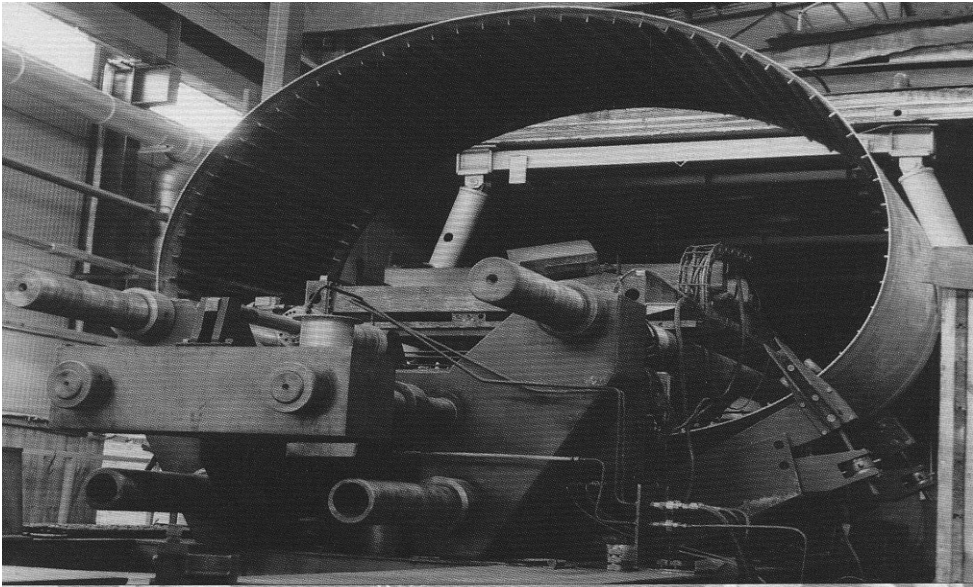
*Протокол №117 від 27.02.64. «Про розробку й виготовлення устаткування для електроннопроменевого зварювання об'єктів великих габаритів./ Тема ТМ7-407- 64/ для підприємств п/я 186 «Південмаш» і п/я 924 «Прогрес»».*

*Протокол № 120 від 03.03.64. «Слухали повідомлення Назаренка про результати досліджень по ЭЛС із кинджальним проплавленням...п.3. Роботу вести в тісному контакті з технологічними відділами. п.4. При дослідженні процесів паротворення ЕПЗ залучити відділи №№7, 9 і 13.». До розробки технології ЕПЗ алюмінієвих сплавів підключили А.А. Бондарєва. [30].*

У 1970–1977рр було вивчено механізм глибокого проплавлення металу, гідродинамічні явища у зварювальній ванні, природа дефектів, термічні цикли (А.А. Бондарєв, Б.С. Касаткин, Г.І.Лесков, О.К. Назаренко та ін.). На підставі досліджень створювалося зварювальне устаткування й розроблялися технологічні процеси, які дали можливість розв'язати багато складних завдань сучасної техніки. Спосіб ЕПЗ із локальним вакуумуванням було вперше реалізовано на виготовленні обичайок, у тому числі баків ракет великого діаметра з довгими стиковими з'єднаннями зі сплаву 1201 на заводі «Прогрес» і інших заводах галузі, а також товстолистових полотнищ заготовок алюмінієвих цистерн замість дугового зварювання. Технологія забезпечує мінімальні зварювальні деформації, можливість зварювання конструкцій при відсутності доступу до зворотної сторони стику й ін. Незначний розігрів розташованих усередині оболонки елементів монтажу й мікросхем допускає герметизацію мікросхем високоточних приладів. Незважаючи на складне устаткування, ЕПЗ почала витісняти дугові технології зварювання відповідальних і складних конструкцій: циліндричних і конічних оболонок від 300 до 8000 мм, паливних систем, криогенних ємностей і інших елементів ракетно-космічних апаратів з алюмінієвих і магнієвих сплавів [31].

ЕПЗ була застосована й для виробництва напівфабрикатів тонкостінних алюмінієвих панелей з ребрами жорсткості. Ці панелі – стінки паливних баків – виготовляли гарячим пресуванням. Б.Є. Патон не міг не втрутитися.

*Протокол наради в директора №1169 від 1.10.80. «Про роботи з безвафельних конструкцій: Підготувати лист Уткіну (КБЮ) і Макарову (ЮМЗ) із проханням*



Камера електронно-променевого зварювання баків ракет

прискорити поставку панелей і відзначити необхідність виготовлення пристосування для розтяжки».

Протокол №1227 від 24.10.80. «Про виготовлення твердих безвафельних панелей ракет-носіїв. Відзначити позитивні результати зварювання зразків безвафельних конструкцій і відставання в виробленні замовником конструктивних розв'язків зварених панелей».

Протокол № 1392 від 01.12.80. «Створення безвафельних конструкцій. п.2. Лобанову, Стебловському, Назаренку, Бондареву прискорити випробування стенда виготовлення обрєблених панелей з використанням спеціального пристрою для натягу елементів, що зварюються» [32].

Було розроблено технології приварки ребер одним, двома кутовими швами, прорізним швом (Л.М. Лобанів, О.К. Назаренко, А.А. Бондарев). Застосування обрєблених панелей з нових алюмінієвих сплавів і ЕПЗ баків з них не тільки здешевило виробництво, але й дозволило поліпшити тактико-технічні дані ракетних комплексів [33]. Так, бойові можливості Р-36М2 («Воєвода») з міжконтинентальною балістичною ракетою 15А18М (РС-20В; SS-18) (провідний конструктор КБЮ С.І. Вус) з 10 боеголовками, кожна потужністю, еквівалентною півмега-

тонни, у 1989 р. учетверо перевершували її перші зразки й дотепер не перевершені з низки бойових якостей [13]. А.А. Бондаревим, Е.Г. Терновим і іншими комплекс прогресивних зварювальних технологій було впроваджено у виробництво важкої ракети-носія «Протон» В.М. Челомея (завод ім. М.В. Хрунічева), ракет морського базування на Красноярському машзаводі, крилатих ракет на заводі "Стріла" в Оренбурзі, дніпропетровських ракет «Космос», «Циклон», «Зеніт», «Дніпро» і інших ракет, що вартують або успішно використовувалися для запуску космічних апаратів у інтересах науки, оборони чи народного господарства. Крім баків, зварюються корпуси електровакуумних приладів, гіроскопів, а також товстостінних (40 мм) алюмінієвих оболонок термоядерних бомб у НДІ-101 (Челябінськ-70, тепер – м. Сніжинськ).

Інша доля спіткала місячний ракетний космічний комплекс 11А52 (Н1-Л3, SL-15) для польоту на Місяць. До створення комплексу С.П. Корольов приступив у 1961 р. і вибрав невдалий проєкт. Одна з помилок – це величезні не транспортабельні блоки триступінчастої ракети-носія Н-1 діаметром 9 м. Довелося будувати завод на космодромі Байконур, однак випробувно-контрольно-іспитові

роботи проводилися тільки на стартовому встаткуванні. Що стосується баків, то вони були зі сплаву АМгб, зварювалися дуговими способами за участю бригади Б.А. Стебловського [33]. У 1969 р. розпочалися пробні запуски, які закінчувалися потужними вибухами. 24 листопада 1972 р. після четвертої аварії роботи були припинені. «Місячна гонка» завершилася поразкою Радянського Союзу. Серед безлічі причин катастроф (від організаційних до містичних) вказувалася й надмірна стартова вага 2820 т, що значно перевищувала вагу ракети «Сатурн-5», яка вивела американців на Місяць.

Утім, зварювальні технології не були винні. У 1976 р. почалася розробка космічного комплексу «Енергія-Буран». Конструкції орбітального корабля багатотазового використання «Буран» виготовлялися з різних матеріалів, у тому числі й з різних алюмінієвих сплавів (кабін з конічних обичайок і днищ, силових елементів). За технологією ракетобудування найскладнішим завданням була розробка нової модифікації алюмінієвого сплаву, здатного витримувати колосальні навантаження, що виникають при польоті ракети, а також розробка паливних баків небачених до цього габаритів [34]. «Енергія» дотепер є найпотужнішим у світі космічним засобом. Успішний пуск 15 травня 1987 р. підтвердив високу надійність комплексу. Епопея

«Енергії-«Бурану» завершилася другим стартом 15.11.1988 з триумфальною посадкою орбітального корабля в автоматичному режимі. (Утім, у США підрахували, що човники запускати не вигідно, і корабель, що залишився після катастроф, відправили в музей; нині американські астронавти добираються на МКС на королівських Р-7 – «Союз» [35]).

Створення ракетно-ядерного шита СРСР стримало агресивні плани й зупинило розгортання у другій половині ХХ ст. нової світової війни. У вирішенні технологічних проблем ракетобудування прийняли найактивнішу участь співробітники ІЕЗ ім. Є.О. Патона.

У в ХХІ ст. внесок ІЕЗ ім. Е.О.Патона в ракетобудування став у нагоді й для міжнародних проєктів. 3 грудня 2012 р. у 22:44 за київським часом із плавучої платформи «Одіссей» (Odyssey) на екваторі в Тихому океані успішно стартувала україно-російська ракета-носіє «Зеніт-3SL» з американським супутником зв'язку «Intelsat-21». Перший і другий ступені цієї триступеневої ракети були спроектовані КБ «Південне» і виготовлені на ВО «Південний машинобудівний завод імені А.М.Макарова». Третій шабель (розгінний блок ДМ-SL) був розроблений і виготовлений ракетно-космічною корпорацією «Енергія» ім. С.П. Корольова за технологіями ІЕЗ ім. Є.О. Патона.

1. *Призваны временем. От противостояния до международного сотрудничества* / Под общ. ред. С.Н. Конюхова. – Д.: АРТ-ПРЕСС, 2004. – 768 с.
2. «Секретний» підрозділ галузі: нариси з історії фізико-технічного інституту Дніпропетровського національного університету / Редкол.: М.В. Поляків (керівник). – Д.: Вид. Дніпропетр. Ун-ту, 2001. – 376 с.
3. *Розвиток ракетно-космічної техніки в Україні: Підручник* / Ф.П. Санін, Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, В.В. Хуторний. – Д.: АРТ-ПРЕСС, 2002. – 402 с.
4. *Космонавтика СРСР* / Главн. редактор Мозжорин Ю.А., укладачі Гильберг Л.А., Еременко А.М.: «Машинобудування», «Планета», 1986. – 491 с.
5. *Калашиков М.* Битва за небеса. – М.: «Издательство АСТ» . – 2003. – 704 с.
6. *Патон Б.Е.* Развитие автоматической электросварки под флюсом за годы войны // *Электричество*. – 1945. – №3. – С. 3–5
7. *Рабкин Д.М.* Новый способ автоматической сварки // *Автоматическая сварка*. – 1953. – №4. – С.18–25.
8. *Рабкин Д.М.* Автоматическая сварка алюминия и его сплавов полуоткрытой дугой. – Л.: ЛДНТП, 1956. – 48 с.
9. *Космос: Технологии, материаловедение, конструкции: Сб. научн. тр./Под. ред. Б.Е.Патона.* – К.: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2000. – 528 с.
10. *Технология производства космических ракет* / Джур Е.А., Вдовин С.И, Кучма Л.Д. и др. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 2001. – 222с.
11. *Макаров А.А.* Директор большого завода // Сб. «Видатні конструктори України» «ДКБ «Південне» 50 років. – К.: НТУУ «КПІ». – С.32–49.
12. *Корнієнко О.М.* М.К.Янгель біля витоків вітчизняного ракетобудування // *Наука та наукознавство*. – 2011. – №4. – С.19–34.

13. *Призваны* временем. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное»/ В.Г.Васильев, С.Н. Конюхов, А.Н. Машенко и др., Под ред. С.Н.Конюхова.— Днепропетровск: «Арт-Пресс», 2004. —228 с.
14. *Патон Е.О.* Воспоминания. — К.: Держ. видав. художньої літератури, 1956. — 322с.
15. *Архів* Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Фонд №1 — Протоколи нарад. —Спр. 2–5. — Арк. 185–270
16. *Патон Б.Е., Потапьевский А.Г., Подола Н.В.* Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом //Автомат. сварка. — 1964. — № 1. — С.1–6.
17. *Патон Б.Е.* Наука. Техника. Прогресс. — М.: Наука, 1987. — 414 с.
18. *Сварка* алюминиевых сплавов на постоянном токе прямой полярности / Д.М. Рабкин, О.Н.Иванова, Б.А. Стебловский, В.П. Будник // Автоматическая сварка. — 1971. — №3. — С. 71–72.
19. *Будник В.П.* Особенности сварки алюминиевых сплавов на постоянном токе при прямой полярности // Автоматическая сварка. — 2003. — №1. — С. 38–40.
20. *Дудко Д.А., Корниенко А.Н.* Сварка алюминиево-магниевых сплавов плазменной дугой переменного тока // Резка, плавка и сварка сжатой дугой: Сб. — М.: Цинтихимнефтемаш, 1968. — С. 15–21.
21. *Архів* Інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона. — Фонд №1 — Протоколи нарад. — Спр. 7. — Арк. 14.
22. *Авторское* свидетельство СССР №359120 Способ сварки со сквозным проплавлением / А.Н.Корниенко, Б.А. Стебловский, Н.Г. Воронов, Г.К. Чудаков. Кл. В 23 к. Заявл. 03.05.1971. Оpubл. 21.11.1972. Б.И №35.
23. *Авторское* свидетельство СССР №364402 Устройство для сварки неповоротных стыков труб /А.Н.Корниенко. Кл. В 23.К.03.05.71.
24. *Корниенко А.Н.* Трудный путь лёгкого металла в ракетостроение. Дуговая сварка. Ч. 2 //Сварщик. — 2011.— № 6. — С. 50–53.
25. *Корниенко А.Н.* История сварки. К.: «Феникс», 2004. — 212 с.
26. *Остапенко Н.Г.* О конструкции трансформатора для контактной стыковой сварки деталей с большим сечением и развитым периметром //Автоматическая сварка. — 1952. — №2. — С. 32–40.
27. *Кучук-Яценко С.И.* Контактная стыковаясварка изделий из сплавов на основе алюминия, магния, титана, нержавеющей сталей и сплавов /Сб. Технология. Материалы. Оборудование. — Киев: 2004. — ИЭС им. Е.О.Патона. — С. 137–138.
28. *Малиновський Б.М.* Академік Борис Патон — праця на все життя/ К.: Наук. думка. — 2002.— 339 с.
29. *Назаренко О.К.* Электроннолучевая сварка. К.: Наук.думка, 1965. — 75 с.
30. *Архів* Інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона. Фонд №1 — Протоколи нарад, Спр. 12.— Арк. 24–27
31. *Патон Б.Е., Назаренко О.К., Бондарев А.А. и др.* Электронно-лучевая сварка и последующая термомеханическая обработка обечаек большого диаметра из сплава 1201 //Автом. сварка. —1983. —№9. —С.1–5, 13.
32. *Архів* Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Фонд №1 — Протоколи нарад. — Спр. 14. — Арк. 45–47.
33. *Стебловский Б.А., Завируха В.И., Будник В.П., Гайдук А.А.* Применение галиево-дуговой сварки для получения сборочных швов на стыковых соединениях алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. — 1985. — №3.— С.27–34
34. *Рязанцев В.И., Федосеев В.А.* Сварка конструкций орбитального самолета «Буран»/ // Сварочн. пр.-во. — 1997. — №4. — С.31–36.
35. *Чертюк Б.Е.* Ракеты и люди. Горячие дни холодной войны. —М.: Машиностроение. — 2007. — 701 с.

*Одержано 12.04.2014*

*А.Н. Корниенко*

### **Вклад Института электросварки им. Е.О.Патона в ракетостроение, в производство ракетных конструкций из алюминиевых сплавов**

*80 лет тому известный мостостроитель академик Е.О.Патон создал Институт электросварки, который в скором времени занял ведущее место в развитии сварки и родственных технологий. Свыше 60 лет под руководством академика Б.Е. Патона решаются проблемы ракетно-космической техники. Для реализации проектов С.П.Королева и М.К.Янгеля, В.Н.Челомея, В.П.Глушко и других творцов ракет и космических аппаратов впервые в мире разработаны необходимые наукоёмкие технологии, в частности, техника изготовления ответственных конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов.*