

УДК 621.791:624.07.4-436:620.191.38

Літвінов О.П.

Приазовський державний технічний університет. Україна, Маріуполь

ЕТАПИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ КОРПУСІВ РАКЕТ-НОСІЇВ

Анотація

Розглянуто розвиток зварювання на вимоги ракетобудування. Однією з основних проблем було забезпечення високої якості з'єднань елементів корпусів ракет, навантаження на які підвищувалися на протязі другої половини ХХ ст. Еволюція зварювання – однієї з провідних технологій ракетобудування проходила по шляху концентрації енергії дугових та електронно-променевих способів відповідно до удосконалення конструкцій ракет і використання нових сплавів.

Abstract

Welding development on request of rocket production is considered. One of the main problems was to provide high quality of joints of the rocket bodies, loadings on which increased during the second part of the XX century. Welding evolution - one of the leading rocket production technologies - was performed by energy concentration of arc and electron-beam processes in accordance with rocket structure improvement and application of the new materials.

В останній час в кранах, що зробили якийсь внесок у розвиток ракетно-космічної галузі

з'явилося безліч публікацій з історії проектування, виробництва, випробувань, застосування ракет і космічних апаратів. Найбільш поширені мемуарна література, енциклопедії й дослідження історичного характеру, викладені в популярній формі. У минулому в СРСР на усі відомості, які на думку цензури несли інформацію військового чи виробничого характеру ракетобудування, було накладено заборону. До категорії секретних технологій виробництва ракет відносили і новітні технології зварювання і родинні технології, що спеціально розроблялися на замовлення ракетобудівників. На протязі останніх десятиріч було опубліковано значну кількість статей з цієї тематики, але до сьогодні не систематизовано матеріали, що відносяться до таких технологій виробництва, як зварювання. В цієї роботі встановлено внесок вітчизняних фахівців у рішення проблем зварювання й родинних технологій, що виникли при виготовленні корпусних конструкцій і паливних баків. Особливості розвитку авіаційної і ракетно-космічної техніки визначили основні напрямки в удосконаленні технології виготовлення конструкцій з використанням зварювання, пайки і родинних технологій. Слід відмітити, що основним критерієм розробки і застосування технологій було забезпечення відповідних експлуатаційних



якостей. Але в усі часи зверталася увага на економію матеріалів і енергії; вишукувалися резерви, створювалися технології з концентрованою енергією. Підвищення міцності матеріалів одночасно сприяло зниженню ваги конструкцій, і, відповідно, сприяло підвищенню потужності, корисної ваги й дальності польоту.

Метою цієї роботи є аналіз розвитку технологій зварювання плавленням, що створювалися на потребу авіаракетної галузі.

З середини 1940-х років з розгортанням ракетобудування в США, Великій Британії, СРСР почався пошук технологій зварювання матеріалів, з яких виготовляли корпуси, двигуни, рулі керування. Цією проблемою в першу чергу зайнялися установи, які забезпечували технологіями авіаційну промисловість. Ще в 1930-х роках тут для виробництва і ремонту алюмінієвих і магнієвих конструкцій застосовували газове, атомно-водневе, дугове вугільним електродом зварювання і наплавлення; для конструкцій зі сталі, в тому числі й нержавіючої, — атомно-водневе, контактне, ручне дугове штучними електродами [1–3]. На початку 1940-х років в США було розроблено перші технології дугового зварювання неплавким електродом в інертних газах вузлів літаків з легких сплавів [4–5]. В 1948 р. в СРСР в НІАТ створено вітчизняну технологію аргоно-дугового зварювання як алюмінієвих сплавів, так і хромо-нікелевих корозійностійких сплавів [6, 7].

У філії № 1 НДІ-88, яку очолив С.П. Корольов, працювали деякі німецькі фахівці — співробітники конструктора ракет А-4 (Фау-2) В. Брауна [8]. В цих ракетах була повторена технологія виробництва, яку застосували німці в Пандемюнде, тобто було виготовлено суцільнозварний моноплан, що був спроможний нести до 750 кг вибухівки на відстань до 255 км. Контейнер для вибухівки у формі усіченого конуса з маловуглецевої сталі, конструкції фюзеляжу і крил виготовляли точковим контактним зварюванням, паливні баки для турбогвинтового двигуна й балони для стиснутого повітря виготовляли також зі сталі за допомогою ручного дугового зварювання (рис. 1) [9]. В цей час сам В. Браун, захоплений американцями, працював в Національному космічному агентстві США, де удосконалював свій проект військового часу [10].

18 жовтня 1947 року в СРСР з полігона Капустин Яр відбулися перші запуски ракет V-2, зібраних з розрізнених частин, які спроogliлися розшукати у Німеччині. Більшість запусків були невдалими — ракети літали погано, що пояснювалося, зокрема недосконаліми технологіями з'єднання [11]. Стало ясно, що необхідно розробляти свої конструкції з якісних нових матеріалів і з застосуванням новітніх більш надійних технологій. Наступні ракети С.П. Корольова були більш

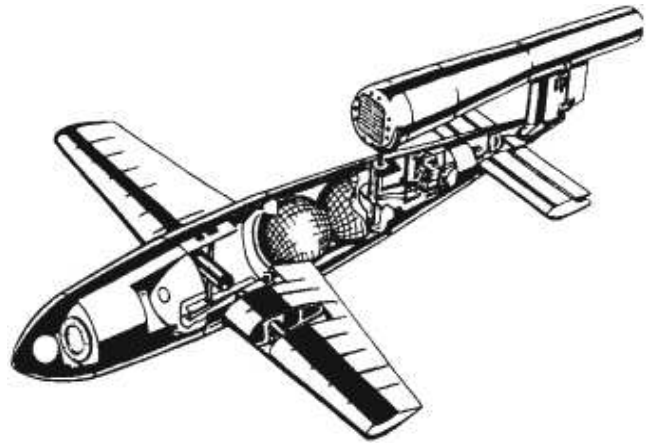


Рис. 1. Конструкція "Фау-2"

конструктивно вдосконаліми. Паливом був спирт, який при горінні з киснем давав високий питомий імпульс і забезпечував потужну тягу. Але рідкий кисень, що перевозили в звичайних цистернах і берегли в посудинах, швидко нагрівався і випаровувався [12]. Виникла потреба в величезній кількості посудин з алюмінієвих сплавів, які мали б конструкцію термоса. За допомогою звернулися до Є.О. Патона.

Маючи величезний досвід в створенні дугового зварювання сталей під шаром флюсу, в Інституті електрозварювання вирішили застосувати флюс і при зварюванні алюмінію. В 1951 р. вперше в світі було розроблено новий вид зварювання — дугове по шару флюсу з солями фтору [13]. Технологія зразу ж була застосована для серійного виготовлення залізничних цистерн на заводах м. Жданова (Маріуполь) і м. Нижнього Тагилу. Одночасно у спеціалізованих організаціях Міністерства середнього машинобудування і Авіаційної промисловості НІАТ, ЦНДІМашинобудування, НІКІМТ та інших продовжувалися дослідження дугового зварювання в інертних газах. Пошуки проводилися по декільком напрямкам, що дозволяло вибирати різні варіанти технологій в залежності від типу з'єднань, складу матеріалів, умов експлуатації, відповідальності вузла то що [14–16].

Вже на початку 1950-х років при зварюванні несучих конструкцій і паливних баків ракет на заводах Радянського Союзу переходять на аргоно-дугові процеси, тому що зварювання по шару флюсу не задовольняло вимогам до з'єднань, що на той час підвищилися. Ракета Р-12 (8к63) конструкції М.К. Янгеля Конструкторського бюро "Південне" (КБП) стала першою в світі стратегічною ракетою на висококиплячих компонентах палива. Несучі баки ракети вперше виготовлялися з листів алюмінієво-магнієвого сплаву АМг6 дуговим автоматичним зварюванням в аргоні [12]. Використання термічно зміцнених і нагартованих

сплавів алюмінію зажадало 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 метала і зварювальної ванни. З точки зору фізики на електричний розряд в парах і газах можна впливати стороннім електромагнітним полем, імпульсами свого (зварювального) струму (пінч-ефект), тиском середовища, охолодженням з периферії, застосуванням газів і парів з різним потенціалом іонізації та ін.

Дослідження впливу магнітного поля розпочав на кафедрі зварювання Київського політехнічного інституту в 1950-х роках К.К. Хренов, а на початку 1960-х років розгорнувся широкомасштабний пошук способів керування процесами плавлення електрода, формування зварювальної ванни і покращення металу шва в лабораторії магнітного керування при кафедрі зварювання (Г.Б. Сердюк, О.М. Корнієнко, В.П. Черниш). В наступні роки на зварювальному факультеті були створені наукові засади і розроблені технології магнітного керування, що були впроваджені, зокрема в виробництво ракетних конструкцій КБП на Південному машинобудівному заводі (В.В. Бородин, Б.П. Ржанов, Л.Г. Чепур, О.Ф. Гриценко, В.І. Москаленко та ін.). В результаті досліджень В.П. Черниша, В.Д. Кузнецова, та інших було забезпечено високу якість швів алюмінієво-магнієвих сплавів, титану, алюмінієво-літєвих сплавів та ін. [17–20].

Дослідження з керування процесами плавлення електрода і ванни, і переносу електродного металу були започатковані ще наприкінці 1930-х років в Інституті електрозварювання В.І. Дятловим. В 1943-44 рр. Б.Є. Патон і А.М. Макара встановили наявність дугових процесів в зварюванні під флюсом. Але найбільш інтенсивно проводився пошук засобів управління плавленням і тепловкладенням з кінця 1950-х р.р. в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона, НІАТ, ЦНДІТМаш та ін. Було розроблено устаткування та технології з різними формами, частотою чередування імпульсів, що забезпечили можливість зменшення тепловкладення в основний метал, а відтак і зменшення зони шкідливого термічного впливу [21–27].

Розробкою технологій для зварювання ракетних конструкцій в ІЕЗ ім. Є.О. Патона керував безпосередньо директор Б.Є. Патон. Для прискорення впровадження в структурі конструкторсько-дослідного бюро ІЕЗ було створено спеціальний відділ під керівництвом Б.А. Стебловського. Виробничі іспити, корегування параметрів режиму зварювання, інші науково-технологічні питання вирішувалися в лабораторіях і цехах заводів, що

будували ракети С.П. Корольова, М.К. Янгеля, В.П. Челомея та ін. Фундаментальні дослідження процесів дугового зварювання алюмінієвих, титанових і високоміцних сталевих сплавів розгорнулися у відповідних відділах, які очолювали Д.М. Рабкін, С.М. Гуревич, А.М. Макара. Одночасно досліджувалися особливості контактного зварювання і розроблялися контактні машини для з'єднання алюмінієвих конструкцій ракет, що їх проектував М.К. Янгель. Майже щоденно усі відповідальні виконавці доповідали о стані робіт Б.Є. Патону і на нарадах з участю широкого кола фахівців вирішувалися чергові питання. В архіві ІЕЗ ім. Є.О. Патона збереглися протоколи нарад у директора і перевірки виконання планів і завдань [28]. Крім розробки і удосконалення технологій створювалося необхідне обладнання в декільках відділах ОКТБ під керівництвом А.І. Чвертко, В.Є. Патона, В.А. Сахарнова та ін. По телефону, а іноді і при особистих зустрічах Б.Є. Патона з С.П. Корольовим, М.К. Янгелем, В.П. Челомеем, А.М. Макаровим, В.Ф. Уткиним та іншими конструкторами і керівниками конструкторських бюро, інститутів і заводів вирішувалися принципові стратегічні питання ракетобудування.

Із середини 1960-х рр. імпульсно-дугове зварювання плавким електроодом знаходить усе більше широке застосування в промисловості. Воно використовувалося при виготовленні корпусних конструкцій ракетних комплексів на Південному машинобудівному й Оренбурзькому заводах, Куйбишевському заводі "Прогрес", а також при створенні нових конструкцій в авіаційній, суднобудівній і іншій галузях техніки із широкою областю застосування алюмінієвих сплавів [28].

Науково-технічні дослідження з розробки устаткування, апаратури керування й технології зварювання неплавким електроодом постійним струмом прямої полярності в гелії — гелієво-дугового зварювання відносяться до початку 1970-х рр. [29]. Для з'єднання товстостінних конструкцій із плит, фасонних профілів алюмінієвих сплавів АМг6 і 1201 розроблена технологія зварювання заготівель з вузькощілевим обробленням крайок імпульсною й стаціонарною дугою плавким електроодом у гелії і його сумішах з аргоном. Спосіб дозволяє одержати з'єднання в нижньому положенні й на вертикальній площині [30].

Високі вимоги, висунути до зварених з'єднань посудин зі сплаву АМц і технічного алюмінію товщиною 20...30 мм для зберігання й перевезення агресивних продуктів, привели до розробки високоефективної технології зварювання плавким електроодом діаметром 2–3 мм стаціонарною дугою в суміші інертних газів — гелію й аргону. Тут було застосовано ефект концентрації енергії дуги завдяки більш високому потенціалу іонізації гелію.

Ця технологія була успішно реалізована при виготовленні ємностей зі сплаву АМг6 на Балашихинському ПО "Криогенмаш", потоковому виробництві алюмінієвих котлів, залізничних цистерн і корпусних елементів ракет зі сплаву АМг6 на ПО "Азовмаш". Зварювання плавким електродом в аргоні діаметром 3 мм було впроваджено на Курганському машинобудівному заводі для виготовлення корпусів бойових машин піхоти з алюмінієвої броні [31].

Можливості використання нових високоміцних алюмінієвих сплавів у конструкціях відповідального призначення, залежало від якості зварених з'єднань.

Необхідність підвищення якості з'єднань традиційних і нових високоміцних сплавів алюмінію з літєм, чутливих до термічного циклу й схильних до утворення дефектів у швах, зажадало подальшого вдосконалювання технологій з'єднання (рис. 2–4). Виходячи з вимоги максимального зменшення зони термічного впливу найбільш перспективним представлявся 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 в галузі електронно-променевого зварювання, продовжувалися дослідження дугових процесів.

Розвиток дугового зварювання відбувався в напрямку вдосконалювання керування тепловою енергією, переносом краплі електродного металу й формування шва, інтенсифікації потоків металу ванни й регулювання її тепломісткості. Зокрема, було розроблено технологію аргонодугового зварювання неплавким електродом із активуючими флюсами без оброблення крайок і присадкових матеріалів на основі методу автоопресовки

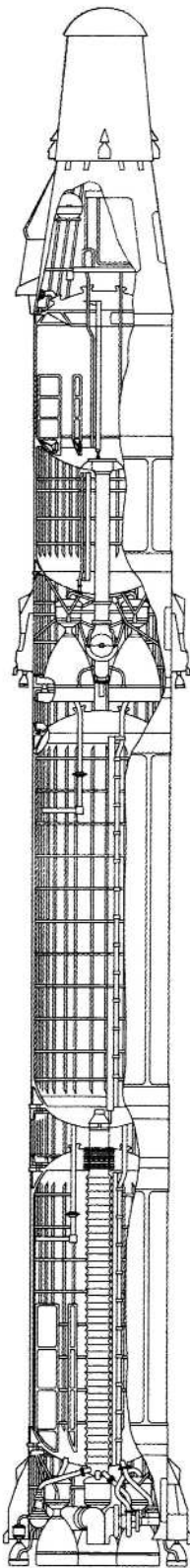


Рис. 2. Компонівка ракети 8К67

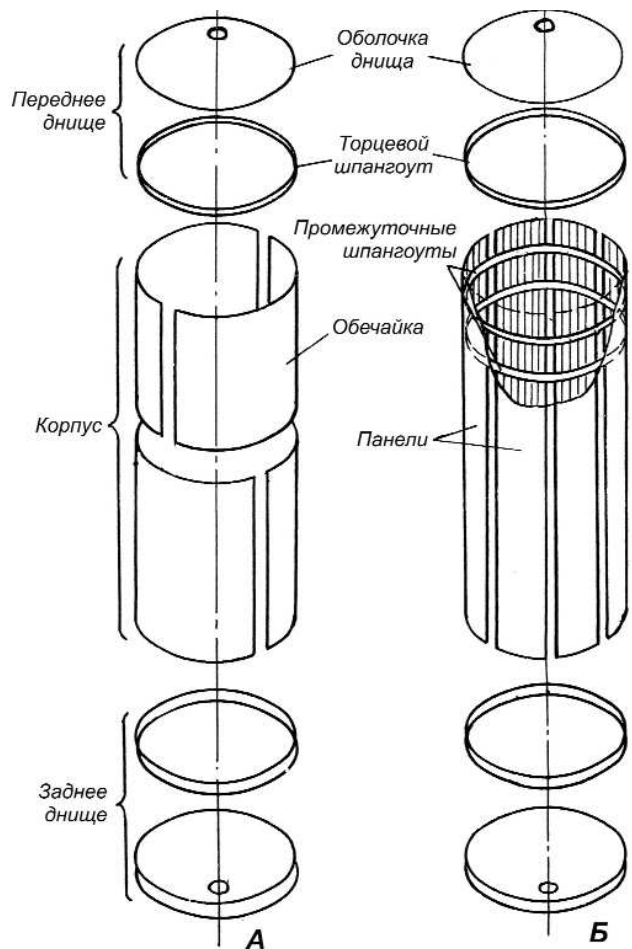


Рис. 3. Структурний склад паливних баків: А – обічачний варіант; Б – панелізований варіант

конструкційних сталей. Така технологія дозволяє в 1,5–2 рази підвищити продуктивність праці, заощаджувати присадкові матеріали, а також зменшити на 40% витрату електроенергії [32]. До нових науково-технологічних рішень, розроблених в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, слід віднести також імпульсно-дугове зварювання різнорідних металів і сплавів, що вперше було застосовано при виготовленні біметалевих і триметалевих конструкцій ракет 15А18, 11Д07 на Південному машинобудівному заводі (ПМЗ) [33].

Плазмове зварювання дугою перемінного струму вперше у світі було розроблено в ІЕЗ і після впровадження у виробництво алюмінієвих конструкцій у суднобудівельній галузі [34], привернуло увагу фахівців аерокосмічної галузі. В 1965 р. розгорнулися пошукові роботи по зварюванню паливних баків і несучих конструкцій виробів по проектам С.П. Корольова, що їх виготовляли на підприємстві "Прогрес" у м. Самара, РФ. Технології підганялися до вимог ракетобудівельників безпосередньо на дослідних підприємствах ОКБ-1 у Москві й у м. Калінінграді – Подлипки (зараз м. Корольов) у Московській області й у м. Куй-

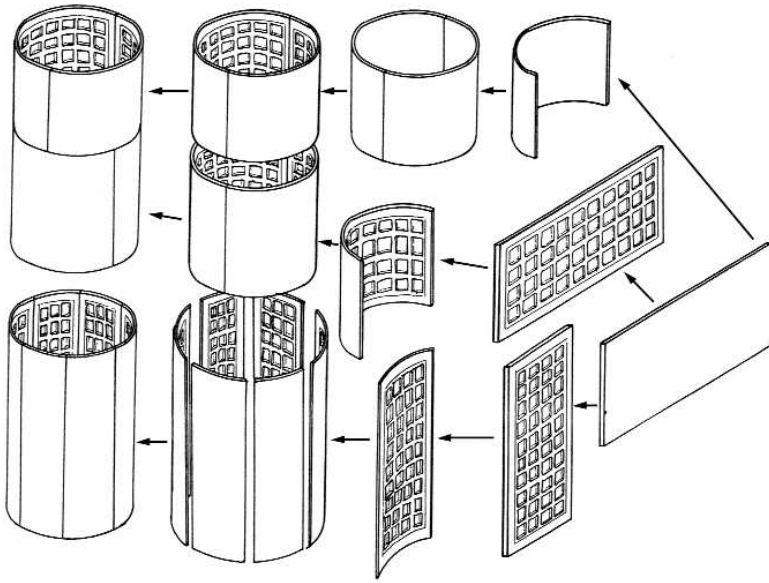


Рис. 4. Схема варіантів виготовлення корпусу бака вафельної структури

бишев. Основною задачею було виключення з металу шва оксидних плівок, які при інших способах дугового зварювання руйнуються тільки на поверхні заготівель [35]. При вільному формуванні без підкладки можна зварювати стики товщиною до 8 мм, на підкладці — до 30 мм за один прохід. Тобто, концентрований плазмовегазовий потік розробленого в ІЕЗ ім. Є.О. Патона процесу (О.М. Корнієнко), проплавляє метал ракетних конструкцій 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 від так зменшенню зони разупрочнення й величини деформацій і напружень [36].

На протязі останньої чверті ХХ ст. продовжувалися пошуки більш ефективних алюмінієвих сплавів і технологій їхньої обробки. Підвищення міцності, зокрема досягалося нагартуванням і термічною обробкою, тому задача звуження ЗТВ залишалася актуальною. В 1980-х роках при механізованому аргонодуговому зварюванню вольфрамовим електродом сплавів, термічнозміцнених і нагартованих напівфабрикатів з алюмінієвих сплавів АМг6 та 1201, а також при виготовленні зварених вузлів, до яких пред'являються високі вимоги по точності геометрії, застосовувати супутнє охолодження з метою скорочення ширини зони термічного впливу [37]. Серед сучасних легких сплавів алюміній-скандієві займають особливе положення, тому що мають комплекс властивостей, які неможливо одержати в інших системах легування на основі алюмінію. Скандій разом із цирконієм на 10...20% сприяє підвищенню

міцності зварених з'єднань. Гарне сполучення технологічних і експлуатаційних властивостей алюмінієвих сплавів зі скандієм дозволило використовувати їх для виготовлення відповідальних вузлів, включаючи аерокосмічні конструкції, силові корпуси, ємності і й ін. Важливим фактором підвищення міцності сплавів зі скандієм є добавка цирконію, що утворює із алюмінієм і скандієм комплексну фазу й приводить до із процесу розпаду твердого розчину скандію в алюмінії й коагуляції продуктів розпаду при наступних нагрівах напівфабрикатів. З урахуванням цього розроблена серія термічно незміцнюємих сплавів типу 1515, 1523, 1570 (Al-Mg-Sc) з високими показниками міцності, корозійній стійкості й зварюваності.

У термічно зміцнюємих сплавах типу 1970, 1975 (Al-Zn-Mg-Sc) і 1421, 1423 (Al-Vg-Li-Sc) використовується тільки структурне зміцнення [38, 39].

Застосування нових високоміцних сплавів дозволило зменшити матеріаломісткість конструкції вже діючих вузлів і за рахунок цього збільшити корисне навантаження літальних апаратів.

Розроблено технологію виготовлення із застосуванням електронно-променевого зварювання (ЕПЗ) циліндричних і конічних оболонок від 300 до 8000 мм, та інших елементів ракетно-космічних апаратів, паливних систем, посудин тиску або криогенних ємностей, з алюмінієвих і магнієвих сплавів. Технологія електронно-променевого зварювання забезпечує мінімальні зварювальні деформації (не більш 0,03 мм на діаметрі до 100 мм), незначний (не вище 60°C) розігрів розташованих у середині корпусу або оболонки елементів монтажу й мікросхем, а також допускає розташування герметичних виводів на корпусі приладу на відстані до 2 мм від звареного шва.

Крім операцій зварювання, технологія вирішує проблеми конструктивного виконання крайок різних типів, що зварюються, з'єднань, підготовки поверхні виробів і крайок перед зварюванням, виконання вимог до точності складання й вибору просторового положення з'єднань, а також вибору раціональних способів контролю якості й випробувань міцності зварених з'єднань, у тому числі при криогенних температурах.

Тепер електронно-променево зварювання усе більш широко застосовується при виготовленні великогабаритних вузлів з матеріалів на основі алюмінію й магнію. При цьому основне завдання забезпечити високу стабільність якості зварених з'єднань і відтворюваність режимів зварювання.



Причинами низької стабільності якості зварних з'єднань можуть бути як особливості металургійних процесів, що протікають у зоні зварювання, так і нестабільна робота енергетичного комплексу, один з основних елементів до складу якого входить зварювальна електронна гармата. З урахуванням необхідності здійснення зварювання великогабаритних вузлів з легко сплавів, що легко випаровуються на основі алюмінію й магнію товщиною 40 мм і більше, тобто зварювання в умовах інтенсивного випару матеріалу, що зварюється, і значних перепадів вакууму в області зварювання, розроблена конструкція зварювальної електронної гармати типу КЭП-3 із двосекційною системою диференціальної вакуумної відкачки [40].

Більш концентрованим джерелом теплової енергії є електронні промені, спроби застосування яких з метою зварювання розпочати з середині 1950-х років за кордоном, в Московському енергетичному інституті (М.О. Ольшанський, М.Г. Сушкін), в ІЕЗ ім. Є.О. Патона (Б.О. Мовчан, Д.М. Рабкін, С.М. Гуревич) [41, 42].

Але така умова, як вакуум стримувала і обмежувала застосування електронно-променевого зварювання (ЕПЗ). Було розпочато конструювання накидних камер, в тому числі і пересувних по поверхні виробів, і камер великого обсягу для розміщення усього виробу. Вирішення цих конструкторських і технологічних проблем просувалося достатньо швидко. Накопичений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона досвід дозволив узагальнити й сформулювати основні відмітні риси й переваги ЕПЗ: підвищення експлуатаційних характеристик з'єднань на 15...25% у порівнянні із процесами дугового зварювання: мала ширина металу зони термічного впливу (ЗТВ) і, як наслідок, зниження вагових характеристик виробів; висока стабільність геометричних форм і розмірів конструкцій, особливо коли ЕПЗ є фінішною операцією виготовлення виробів; висока якість зварених з'єднань; відсутність оксидних включень і включень вольфраму; мелкокристалічна структура металу шва й збереження його структури в металі ЗТВ; можливість зварювання конструкцій при відсутності доступу до зворотної сторони стику; у всякому положенні деталей малої товщини; у різних просторових положеннях, у тому числі з одночасною подачею у зварювальну ванну присадного дроту; низький рівень загального розігріву конструкцій і можливість одночасного вакуумування внутрішнього обсягу, особливо при герметизації приладів; можливість виконання деяких типів з'єднань, які неможливо виконати іншими способами зварювання.

Спосіб зварювання з локальним вакуумуванням було реалізовано для виготовлення обичайок баків ракет великого діаметру з продовжними

стиковими з'єднаннями, а також товстолистових полотнищ заготівель залізничних цистерн з чистого алюмінію [43, 44]. Для виготовлення оболонок з тонколистових ребристих панелей розроблено технологію зварювання з попереднім пружним розтягуванням елементів [45].

У конструкцію орбітального літака (ОЛ) "Буран" входять агрегати, вузли і деталі, виконані різними способами зварювання. Так, гермосилові kabіни складаються із зварних конічних обичайок, переднього і заднього днищ і великогабаритних силових елементів з штампувань, поковок і пресполос [46].

На початку 1990-х років основні зусилля були спрямовані на дослідження фізико-металургійних процесів при впливі потужного (до 100 кВт) гостросфокусованого пучка електронів на товстолистові (150...200 мм) конструкційні матеріали з метою вишукування способів запобігання дефектів у зварених швах, а також з метою створення методів і засобів діагностики зварених конструкцій, забезпечення точності виготовлення, міцності, надійності й довговічності зварених конструкцій. Дослідження в цьому напрямку одночасно велися в ряді країн Західної Європи й у Японії й були обумовлені необхідністю застосування ЕПЗ у виробництві товстостінних корпусних конструкцій [47].

Для виготовлення великогабаритних корпусних легких конструкцій аерокосмічної техніки використовуються тонкостінні панелі — листові полотнища з набором ребер жорсткості з легких сплавів. Виготовлення цих панелей за допомогою гарячого пресування здійснено, але тільки для високопластичних сплавів і при певних співвідношеннях розмірів перетинів листів і ребер. Для високоміцних сплавів застосовують фрезерування товстих листів. В ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблено технологію виготовлення зварених панелей і оболонок, по якій ребра жорсткості будь-якого поперечного перерізу приварюються до тонкого аркуша (Л.М. Лобанов, О.К. Назаренко, А.А. Бондарев) [48]. Приварку ребер жорсткості до полотнища може здійснюватися двох — і однобічним кутовим або прорізним швом. У порівнянні із широко використовуваним фрезеруванням товстолистових заготівель і гарячим пресуванням панелей вартість виготовлення панельних конструкцій за пропонованою технологією нижче, при цьому значно зростає коефіцієнт використання металу, розширюються конструктивні можливості виготовлення високоефективних конструкцій. Система цифрового керування положенням скануючого електронного пучка й програмування тепловкладення в межах зони нагрівання для установок ЕПЗ застосовується з метою розширення технологічних можливостей процесів

зварювання, наплавлення або термічної обробки електронним пучком. Найбільше ефективно використовувати систему для попередження пористості металу шва, утворення гарячих тріщин, а також при оптимізації форми зони проплавлення з метою зменшення остаточних зварювальних деформацій, зниження рівня хімічної й структурної неоднорідності й інших дефектів [49].

Вершиною роботи над вдосконаленням обладнання й технологій зварювання на замовлення ракетобудівників можна вважати універсальні установки типу КЛ-113 для ЕПЗ. Конструкція установки дозволяє розміщати у камері і зварювати усі вузли баків й інші великогабаритні вироби. Робоча камера оснащена двома розсувними дверима. Для завантаження й розвантаження виробів робочий стіл висувається з робочої камери на рухомій платформі. Спостереження за швом і контроль процесу ЕПЗ у реальному масштабі часу виконуються за допомогою системи RASTR, 5, заснованої на емісії вторинних електронів. Джерело живлення пушки із системою захисту від пробойів на основі електронної лампи. Аналіз параметрів електронного променя й самодіагностика установки по типі "чорної скрині" здійснюються за допомогою персонального комп'ютера й програмувальних контролерів. Функціональні можливості можуть бути реалізовані на всіх типах експлуатованих або створюваних установок не залежно від значень прискорювальної напруги й застосовуваних джерел живлення або електронно-променевих гармат [48, 50]. В ІЕЗ ім. Е.О. Патона розроблені й впроваджені в промислове виробництво технології зварювання крупнокорпусних конструкцій і паливних баків балістичних ракет, ракет морського базування й крилатих ракет.

Висновки

1. Удосконалення ракет-носіїв пов'язане з розробкою нових матеріалів, високі експлуатаційні якості яких досягаються в основному нагартуванням і термічною обробкою. Застосування більш ефективних матеріалів, зокрема пов'язане з рішенням проблем зварювання, перш за все зі зменшенням зони термічного впливу, підвищення якості зварених з'єднань і розширює можливість використання нових високоміцних алюмінієвих сплавів у конструкціях відповідального призначення.

2. На протязі другої половини минулого століття основним напрямком дослідження був пошук методів концентрації теплової енергії і проплавляючої дії дугових процесів. Дугове зварювання розвивалося по шляху вдосконалення керування переносом електродного металу й формування кореня шва, інтенсифікації руху

потоків металу ванни й регулювання її тепломісткості. Були розроблені процеси плазмово-дугового зварювання, зварювання вольфрамовим електродом в гелії та ін.

3. За минулі 60 років з часу першого промислового впровадження електронно-променевого зварювання було створено технології з'єднання конструкції значної товщини, розроблено камери для локального вакуумування і установки для розміщення великогабаритних конструкцій з автоматичним керування процесом зварки, широко застосовується в ракетно-космічній техніці, а також в енергетиці, авіа-, судно-, приладобудуванні й ін. Особливий ефект виникає при виготовленні конструкцій з високоміцних алюмінієво-літійєвих сплавів.

Література

1. Александров Н.С. Сварка в самолетостроении СССР. — М.: Оборонгиз, 1938. — 51 с.
2. Поплавко М.В. Контактная сварка в самолетостроении // Автоген. дело, 1938. — № 10. — С. 8—11.
3. Вишневецкий М.Н. Атомно-водородная сварка в самолетостроении. — М.: Оборонгиз, 1939. — 215 с.
4. An industry in retrospect 50 year progress // Welding journal, 1969. — № 4. — P. 165—169.
5. West E.G. Aluminium welding in this century // Сб.: The centenary of modern welding, 1885-1985//Welding Inst. U. K., London. — 1985. — P. 1—18.
6. Бродский А.Я. Аргонодуговая сварка металлов малых толщин // Ibid. — 1948. — № 10. — С. 11—17.
7. Петров А.В. Технология дуговой сварки в среде инертных газов. Сп. по сварке. Т.І. / Под ред. Е.В. Соколова. — М.: Машгиз, 1961. — С. 372—375.
8. Шалин Р.Е. Развитие и освоение легких сплавов и специальных сплавов для авиационной промышленности России // Технология легких сплавов, 1993. — № 6. — С. 75—84.
9. Развитие ракетно-космической техники в Украине. Ф.П. Санін, Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, В.В. Хуторний. — Дніпропетровськ: "АРТ-ПРЕС", 2002. — 401 с.
10. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро "Южное" / под ред С.Н. Конюхова. — Днепропетровск: "КБЮ", 2000. — 239 с.
11. Решетчатые крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации. / под ред. С.М. Белоцерковского и др. — Москва: Новый центр, 2007. — 407 с.
12. Призваны временем. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро "Южное"/ В.Г. Васильев, С.Н. Конюхов, А.Н. Мащенко и др., под ред. С.Н. Конюхова. — Днепропетровск: "Арт-Пресс", 2004. — 228 с.



13. *Рабкин Д.М.* Новый способ автоматической сварки алюминия // Автоматическая сварка, 1953. — № 4. — С. 45–50.
14. *Бродский А.Я.* Аргодуговая сварка вольфрамовым электродом. — М.: Машгиз, 1956. — 398 с.
15. *Петров А.В.* Тепловые характеристики импульсно-дугового процесса сварки. // Физ. и хим. обр. матер., 1967. т. 6. — С. 11–19.
16. *Алов А.А., Шмаков В.М.* Аргонно-дуговая сварка с дополнительным потоком аргона. // Сварочн. пр-во., 1962. — № 3. — С. 13–16.
17. *Сердюк Г.Б., Корниенко А.Н.* Сварочная дуга в переменном поперечном магнитном поле. // Автомат. сварка, 1963. — № 10.
18. *Черныш В.П.* О принципе построения аппаратов управления электромагнитным перемешиванием сварочной ванны // Сварочное производство, 1970. — № 3.
19. *Сварка с электромагнитным перемещением* / В.П. Черныш, В.Д. Кузнецов, А.Н. Брикман, Г.М. Шеленков — Киев: Техніка, 1983. — 127 с.
20. *Рыжов Р.Н., Скачков И.О., Черныш В.П.* Повышение сопротивляемости сварных швов образованию горячих трещин при ручной дуговой сварке не плавящимся электродом. // Автомат. сварка, 1997. — № 4. — С. 25–29.
21. *Дятлов В.И.* Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке // Новые проблемы сварочной техники. — Киев: Техника, 1964. — С. 167–182.
22. *Патон Б.Е., Потапьевский А.Г., Подола Н.В.* Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса. // Автомат. сварка, 1964. — № 1 — С. 1–6.
23. *Аргоно-дуговая сварка алюминиевого сплава 01420 разнополярными прямоугольными импульсами тока.* / А.Я. Ищенко, А.Г. Чаюн, В.А. Мищенко и др. // Автомат. сварка, 1978. — № 10. — С. 48–50.
24. *Шигаев Т.Г.* Приемы модулирования сварочного тока и приспособления для их осуществления. (Обзор). // Автомат. сварка, 1983. — № 8. — С. 51–55.
25. *Покляцкий А.Г., Гринюк А.А.* Влияние параметров асимметрического и модулированного тока на качество сварных соединений алюминиевых сплавов. // Автоматическая сварка, 2001. — № 7. — С. 33–36.
26. *Жерносеков А.М., Андреев В.В.* Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор). // Автомат. сварка, 2007. — № 10. — С. 48–52.
27. *Архів ІЕС ім. Є.О. Патона.* — Фонд "Розпорядчі документи" — Оп.1. — Сп. 35. л. 9, 18, 25, 43.
28. *Ищенко А.Я.* Сварка алюминиевых сплавов (направление исследований, проводимых в ИЭС им. Е.О. Патона). // Автомат. сварка, 2007. — № 11. — С. 10–13.
29. *Сварка* алюминиевых сплавов на постоянном токе прямой полярности. Д.М. Рабкин, О.Н. Иванова, Б.А. Стебловский, В.П. Будник. // Автомат. сварка, 1971. — № 3. — С. 71–72.
30. *Будник В.П.* и др. Термическое разрушение окисной пленки при сварке алюминия. // Автомат. сварка, 1975. — № 10. — С. 18–22.
31. *Будник В.П.* Особенности сварки алюминиевых сплавов на постоянном токе при прямой полярности // Автомат. сварка, 2003 — № 1. — С. 38–40.
32. *Бирман У.И., Арбузов Ю.П., Рашов В.М.* Повышение механических свойств соединений алюминиевых сплавов методом сварки с принудительным охлаждением. С. 99–102 // Сб. Актуальные проблемы сварки цветных металлов. Докл. 11 Всесоюзн. конф. // К.: Наукова думка, 1985. — 464 с.
33. *Фролов В.А.* Комплексные исследования и повышение уровня конструктивно-технологического проектирования и технологии изготовления сварных изделий новой техники двойного назначения из алюминиевых и титановых сплавов. // Сб. статей и докладов. — М.: Изд-во МГУП (МАТИ), 2002. — С. 185.
34. *Дудко Д.А., Корниенко А.Н.* Сварка алюминиево-магниевых сплавов плазменной дугой переменного тока // Резка, плавка и сварка сжатой дугой: сборник. — М.: Цинтихимнефтемаш, 1968. — С. 15–21.
35. *Боженко Б.Л., Ронський В.Л.* Технология плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом в аргоне. // Сварочное производство, 1984. — № 6. — С. 17–18.
36. *Ищенко А.Я., Лабур Т.М., Лозовская А.В.* Алюминий-литиевые сплавы для сварных конструкций аэрокосмической техники. (Обзор). // Автомат. сварка, 1995. — № 7. — С. 41–44.
37. *Особенности* технологии сварки крупнобаритных конструкций из термоупрочняемого алюминиевого сплава 1201. В.М. Петрованов, В.И. Бобринский Ф.Э., Тэнэбаум Г.Л. Зубриенко. — С. 85–88. // Сб. Актуальные проблемы сварки цветных металлов. Докл. 11 Всесоюзн. конф. // К.: Наукова думка, 1985. — 464 с.
38. *Ищенко А.Я., Лабур Т.М.* Свариваемые алюминиевые сплавы со скандием // Автомат. сварка, 1998. — № 8. — С. 3–6.
39. *Братухин А.Г., Фридляндер И.Н., Давыдов В.Г.* Алюминиевые сплавы с литием и скандием для свариваемых авиационных конструкций // Вестник НОУ-ХАУ. Научн.-технол. журн., 1993. — № 2. — (вып.1). — С. 34–37.
40. *Электронная* пушка для сварки протяженных швов из сплавов, содержащих легкоиспаряющиеся материалы В.А. Казаков, С.А. Лямина, В.А. Ермолов, В.И. Макаров, В.Н. Крюковский.

- С. 167–169. / Актуальные проблемы сварки цветных металлов. — Киев: Наукова думка, 1985. — 463 с.
41. *Ольшанский Н.А.* Метод сварки электронным лучом в вакууме //Автомат. сварка, 1959. — № 8. — С. 3–11.
42. *Некоторые* технологические особенности сварки электронным лучом в вакууме / Б.А. Мовчан, Д.М. Рабкин, С.М. Гуревич, С.Д. Загребенюк //Автомат. сварка, 1959. — № 8. — С. 32–33.
43. *Электроннолучевая* сварка обечаек в локальном вакууме / А.А. Бондарев, А.И. Некрасов, М.И. Морейнис и др. // Автомат. сварка, 1984. — № 2. — С. 75.
44. *Электроннолучевая* сварка крупногабаритных узлов из алюминиевых сплавов в камерах местного вакуумирования / Г.Л. Зубриенко, Ф.З. Тэненбаум, В.М. Петрованов и др. //Актуальные проблемы сварки цветных металлов. Докл. 1 Всесоюзн. конф. — Киев: наук. думка, 1980. — С. 476.
45. *Электроннолучевая* сварка плит большой толщины из сплава Амг6 / Е.Г. Терновой, А.А. Бондарев, С.В. Пещерина и др. // Автомат. сварка, 1991. — № 6. — С. 49–52.
46. *Рязанцев В.И., Федосеев В.А.* Сварка конструкций орбитального самолета "Буран" //Сварочн. пр-во., 1997. — № 4. — С. 31–36.
47. *Исследование* механических свойств, структуры и деформаций соединений сплава 01420, выполненных электроннолучевой сваркой // А.А. Бондарев, Л. М. Лобанов, В.А. Пивторак и др. //Автомат. сварка, 1975. — № 3. — С. 14–17.
48. *Электроннолучевая* сварка и последующая термомеханическая обработка обечаек большого диаметра из сплава 1201 / Б.Е. Патон, О.К. Назаренко, А.А. Бондарев и др. // Автомат. сварка, 1983. — № 9. — С. 1–5.
49. *Технология* производства космических ракет / Е.А. Джур, С.И. Вдовин, Л.Д. Кучма и др./ Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. — 184 с.
50. *Патон Б.Е., Бондарев А.А.* Современное состояние и новые технологии электронно-лучевой сварки конструкций / Автоматическая Сварка, 2004. — № 11. — С. 23–31.