

Внесок Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона у виготовлення сталевих конструкцій ракет

Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона було створено 80 років тому, це перший у світі науко-дослідний і конструкторський заклад з вивчення й розробки зварювання та родинних технологій. Понад 60 років під керівництвом Б.Є. Патона тут вирішується низка проблем ракетно-космічної техніки. Для конструкцій, що експлуатуються в екстремальних умовах, розроблено нові спеціальні сплави та технології їх виготовлення і зварювання.

Створення спеціальних матеріалів

Вчені України з початку розгорнення робіт у галузі ракетно-космічної техніки брали активну участь у вирішенні її проблем. Чимало наукових колективів прагнули, щоб логічним продовженням фундаментальних робіт були прикладні. Саме для цієї галузі було знайдено оригінальні технічні рішення на рівні винаходів, які поширювалися й на інші галузі народного господарства. Академічні інститути України інтенсивно розвивали співробітництво з КБ «Південне», Південним машинобудівним заводом, іншими КБ і заводами, на яких створювалася ракетно-космічна техніка.

У зв'язку з виникненням особливих вимог до якості матеріалів і їхніх з'єднань посилювалась увага до металургії спеціальних сплавів, технологій зміцнення, зварюваності. Багато з спеціальних розробок для ракетобудування започаткували окремі напрямки зварювальної техніки. Але на тому етапі публікації з цієї тематики були заборонені, тому й витоки цієї нової техніки важко дослідити. У СРСР інформація про технології в ракетобудуванні (зварювання, паяння, обробка тиском, різання тощо), якщо й друкувалася, то без натяків на замовників чи галузь застосування. У США та інших країнах

у наукових статтях з ракетобудування, навпаки, не друкували таких результатів досліджень, особливостей техніки та інших даних, за якими можна було відтворити технології. Тому вивчення історії технологій ракетобудування, на відміну від історії конструювання та застосування ракет, вимагає особливого аналізу, зокрема, у тісному зв'язку з особливостями конструкцій ракет, їх тактико-технічними характеристиками, матеріалами корпусів, двигунів, баків, систем керування ракет, складами палива, термінами його зберігання та ін.

Створення сучасних ракет і космічних апаратів вимагало не тільки розробки високоякісних алюмінієвих сплавів для корпусних конструкцій і баків ракет, космічних станцій і літальних апаратів, технологій зварювання, але й нових, більш ефективних сталей для двигунів, систем керування, транспортно-під'ємного обладнання.

Проблемами якості конструкційних сталей зайнялися в Інституті електрозварювання ще у 40-х рр. Є.О. Патон розгорнув тут наукові дослідження й розробку технологій і зварювальних матеріалів по 35 темах. Наприкінці 40-х – початку 50-х рр. запропоновано докладні моделі процесів при зварюванні електродом, що плавиться, визначено причини виникнення пор у шві й тріщин у з'єднаннях. До цього ж пе-

ріоду відноситься також інтенсивний розвиток металознавства зварювання, що виділився з металургії зварювання в самостійний напрямок у період 1940–1945 рр., зокрема при дослідженнях структури металу шва й зони термічного впливу зварювання на броньових сталях, було розвинено гартівну гіпотезу утворення тріщин. Євген Оскарович припустив негативний вплив сульфідних включень, що розташовуються у процесі прокатки строчками. У результаті комплексних досліджень були вироблені науково обґрунтовані вимо-

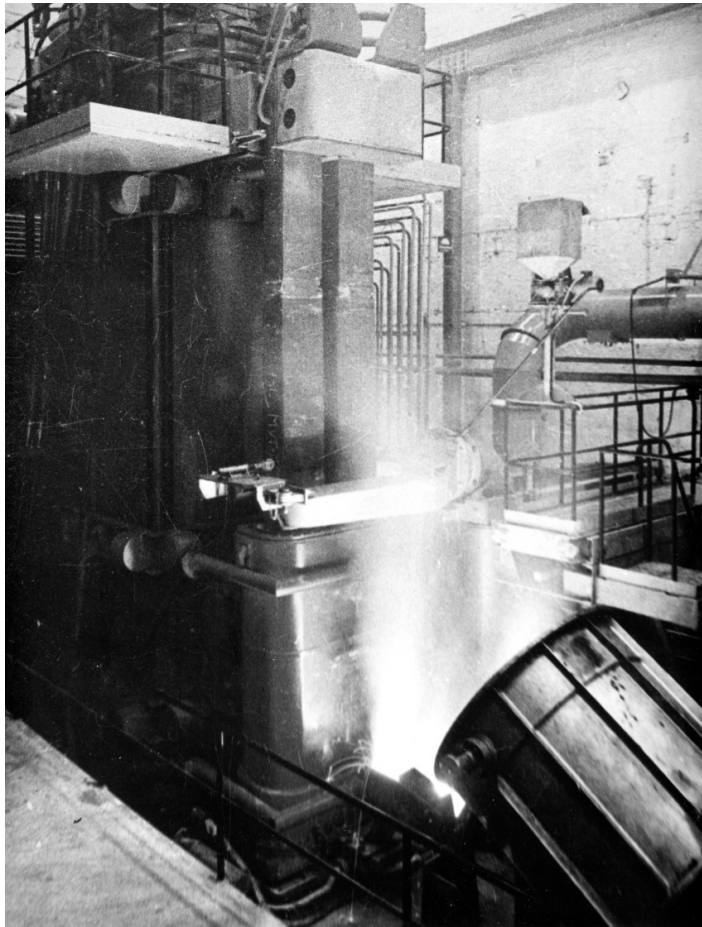
ги до хімічного складу та структур сталі, способу її розкислення, які давали можливість гарантувати службові властивості зварних з'єднань навіть при низьких температурах. Одним з результатів таких досліджень була розробка сталі для мостів і суден. Є.О. Патон домігся виготовлення дослідних зразків, а потім і запровадження цих сталей у держстандарт. Іntenсивно продовжували розбудовувати такі наукові напрямки, як міцність зварних з'єднань і конструкцій, фізико-металургійні й теплові основи зварювання [1, 2].



**Лабораторія випробування міцності зварних конструкцій
(ІЕЗ ім. Є.О.Патона, 1980 р.)**

На початку 50-х рр. в інституті розгорнулися роботи з застосування зварювальних джерел нагріву для виплавлення високоякісного металу. У 1954 р. одержано перший злиток електрошлакового металу (Б.Є. Патон, Ю.Д. Гупало). Б.Є. Патон очолив дослідження з використання електрошлакового процесу для поліпшення якості металів і сплавів. Згодом з'явився принципово новий напрям у металургії — електрошлаковий переплав (ЕШП), який уперше у світі в 1958 р. було введено на заводі «Дніпроспецсталь» у Запоріжжі.

У вивчення, удосконалювання й розвиток нового процесу до спеціалістів ІЕЗ долучилися заводські фахівці та співробітники Запорізького машинобудівного інституту на чолі з Ю.А.Шульте. Освоєння на заводі технологій електрошлакового й вакуумно-дугового переплавів дозволило, перш за все, організувати серійне виробництво підшипникової сталі. Її одержали застосуванням подвійного електрошлакового переплаву з наступним вакуумним дугувим. Така технологія у промислових умовах була використана також уперше.



Піч ЕШП проекту У-436, виготовлена на ВО «Дніпроспецсталь» для фірми Авеста (Швеція)

ЕШП набув широкого застосування та світового визнання – ліцензії на цей процес придбали фірми багатьох країн світу. Його використовують для підвищення технічних показників жароміцних, нержавіючих, інструментальних, шарикопідшипникових та інших сталей і спеціальних сплавів. Об'єднання процесів електрошлакового переплаву й лиття уможливило створення пустотілих злитків, посудин високого тиску, запірної арматури для теплових та атомних станцій, литого штампового інструменту, валів судових двигунів та інших виробів (Б.Є. Патон, Б.І. Медовар, Ю.В. Латаш) [3–5].

Створення ракет на твердих паливах у СРСР довго стримувалося, зокрема, через відсутність спеціальних конструкційних матеріалів з високою питомою міцністю й жорсткістю для корпусів двигунів, ерозійностійких теплозахисних і конструкційних матеріалів, роботоздатних при температурах до 3500 °С. Основним завданням для технологів було створення більш міцних матеріалів і технологій виробництва з них надійних конструкцій. Зменшення ваги несучих конструкцій збільшувало дальність польоту ракети, з'явилася також можливість додаткового навантаження на самі ракети.

З початку 60-х рр. для ракетних двигунів ОКБ-486 В.П. Глушка в ІЕЗ започатковано науково-дослідні роботи зі створення високолегованих двофазних сталей, які вирішили низку проблем систем запуску, підвищення стійкості до агресивного середовища. У 60–70-х рр. виконано значний цикл досліджень з технології і металознавства зварювання плавленням, особливо високоміцних сталей (А.М. Макара); розроблено термозмцнені й низьколеговані сталі високої міцності для зварних конструкцій. (Б.С. Касаткін); знайдено перспективні шляхи підвищення ефективності використання прокату чорних металів і наплавленого металу (О.А. Казиміров) та підвищення опору втоми

зварних конструкцій. (В.І.Труфяков). Послідовно розгорталися дослідження хіміко-металургійних процесів, процесів у рідкому і твердому металах, результати яких використано для покращення якості з'єднань (І.І. Походня, К.А. Ющенко та ін.).

Подальший розвиток техніки та хімічної промисловості вимагав створення нових сплавів із особливими експлуатаційними якостями та розробки технологій їх з'єднання. Зусилля низки відділів було сконцентровано на вирішенні проблем зварювання нових високоміцних сталей для конструкцій корпусів і соплових апаратів твердопаливних ракет на заводах Москви, Казані, Горького, Куйбишева (Б.М. Кушніренко, М.І. Варенко, М.М. Савицький, О.М. Корнієнко, А.Д. Мельник, Т.І. Коновалова та ін.). Хід досліджень і впровадження безпосередньо контролював Б.Є. Патон. Щотижня проходили наради, де вирішувалися складні наукові та організаційні проблеми, роздавалися нові завдання [6]. 7 червня 1959 р. у структурі ОКБ-586 створено відділ №9 перспективної технології і матеріалів (на чолі з М.А. Ахметшиним) з того часу ІЕЗ ім. Є.О.Патона та ОКБ-586 по відповідним напрямкам працювали спільно. Особливе ставлення до якості ракетно-космічної техніки було зумовлено розумінням виконавцями високої відповідальності за надійність функціонування ракет [7–9].

Виготовлення соплових апаратів, теплообмінників і двигунів

У постанові уряду №1229-562 від 12 вересня 1957 р. визначено завдання щодо створення стратегічних ракет далекої дії на твердому паливі. У 1958 р. ОКБ-586 (з 1 жовтня 1967 р. – КБ «Південне») розпочало роботи з твердопаливної тематики. У I кварталі 1959 р. розроблено ескізний проект ракети, а в травні – її подальшу розробку передано в нове КБ у м. Міас. Однак, ОКБ-586 продовжило роботи в цьому напрямку. 14 січня 1961 р. для розробки твердопаливної тематики організовано проєк-

тний відділ на чолі з М.Б.Двініним. 4 квітня 1961 р. постановою уряду визначено завдання щодо створення стратегічних ракет далекої дії на твердому паливі зі стартовою масою 25 т і дальністю польоту 12 тис. км. У зв'язку з цим у квітні 1961 р. у м. Павлоград створено філію №2 ОКБ-586, основним завданням її було проведення дослідно-конструкторських робіт з зазначеної тематики. Були виготовлені й пройшли стендові випробування моделі двигунів серії ДМ, на яких відпрацьовувалися не тільки рецептури високоенергетичних змішаних твердих палив та конструкції окремих елементів двигуна, але й конструкційні матеріали, які

виплавляли по технологіям спеціальної електрометалургії (СЕМ) на «Дніпропецсталі». Випробувалася також якість зварних з'єднань. Якщо в рідиннопаливних ракетах основною проблемою було зварювання несучих конструкцій з алюмінієвих сплавів, то основним проблемним вузлом твердопаливних ракет є двигуни надзвичайно складної конструкції. Причому, соплова частина реактивного двигуна, лопатки турбін та деякі інші конструкції мають витримувати тисячоградусні температурні навантаження. Крім того, енергетичне обладнання виготовляється з різних металів, тобто виникала проблема зварювання біметалів [10].



Реактивний двигун

Конструкція твердопаливного двигуна істотно ускладнювалася трьома моментами: 1. Корпус такого двигуна був одночасно й посудиною для палива, і камерою згорання, отже, перебував під впливом високих тисків і температур. Тому необхідно було спеціальне внутрішнє теплозахисне покриття, причому еластичне та з високою ерозійною стійкістю; до того ж матеріал силової частини корпусу не повинен був у процесі роботи двигуна втрачати міцність. 2. У схемі двигуна в цілому та схемі соплових блоків зокрема не могла бути застосована система примусового охолодження матеріалів і деталей, що зазнавали впливу високоміцного газового потоку. 3. Температура горіння твердого палива, як правило, на 500–700° С перевищує температуру горіння рідкого, при цьому продукти згорання твердого палива містять до 30% маси рідкої і твердої фаз окису алюмінію, що істотно знижує опір матеріалів ерозійному впливу.

Однією з основних проблем була розробка матеріалів для всіх вузлів ракетних двигунів і технологій їх одержання. До вирішення їх завдань Б.Є. Патон залучив низку академічних установ. На той час співробітники ІЕЗ ім. Є.О. Патона вже почали впроваджувати на заводах країни нові металургійні процеси – ЕШП і вакуумний плазмово-дуговий переплави. За допомогою ЕШП одержували високоякісні сталі з наперед заданими властивостями, вакуумного переплаву – високоякісні титанові сплави. Корпус двигуна 15Д15 спочатку вирішили виготовляти з високоміцної сталі СП28, але незабаром обрали склопластик з поздовжньо-поперечним намотуванням ППН-80 (100). Зі склопластику виготовлялася циліндрична частина корпусу, а для переднього й заднього днищ застосували сталь СП-28. Упродовж 1966–1973 рр. у КБ „Південне” (КБП) спроектували два ракетних комплекси на базі твердопаливних двигунів – РТ21 (стартова маса 40 т) і РТ22 (стартова маса 75 т) Матеріалознавчі й

технологічні роботи для ракетних двигунів на твердому паливі (РДТП) проводилися спільно з низкою академічних і галузевих інститутів України та інших республік СРСР.

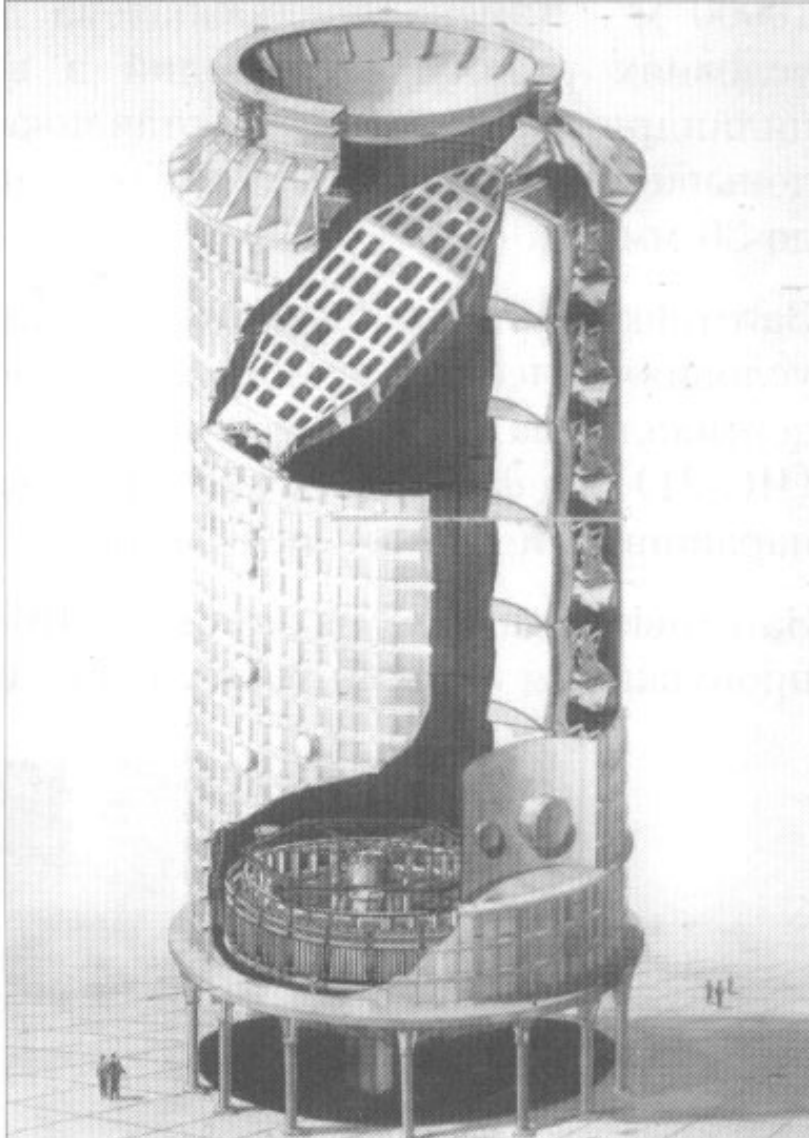
Щоб збільшити експлуатаційні параметри двигунів, зокрема робочі температури гарячого тракту, знадобилося використати нові дисперсійно-зміцнювальні жароміцні нікелеві сплави типу ЖС. При розробці зварювальних технологій виникли складності, пов'язані з видаленням міцних окисних плівок та із забезпеченням жароміцності паяних з'єднань. В інституті було розроблено ефективну високотемпературну пайку у вакуумі (10^{-2} – 10^{-3} Па) у захисній атмосфері аргону або суміші аргону і продуктів розкладу галогенідів. Така технологія дозволила не тільки виготовити вузли сопел і камер згорання, лопаток турбін і компресорів, а також інших деталей, але і зменшити витрати на підготовку до паяння та наступну термічну обробку з використанням нікелевих припоїв (В.Ф. Хорунів) [11].

На основі проектних і конструкторсько-технологічних розробок двигуна 15Д15 створено цілу низку модельних і дослідних двигунів, призначених для експериментального випробування нових палив, нових конструктивних матеріалів, способів спорядження двигунів, форм зарядів, способів керування вектором тяги тощо [12].

В інституті перевірено основні положення технології зварювання високоміцних сталей (границя текучості 900...1000 МПа) і встановлено, що такий рівень властивостей забезпечує система легування швів типу 10ХН2ГСМ. Крім того, було показано, що мікролегування такого металу бором та ітрієм забезпечує одержання дрібнодисперсної вторинної структури, що дозволяє істотно підвищити холодостійкість швів при від'ємних температурах. Подальший науковий пошук, що проводився у відділі під керівництвом К.А. Ющенка, було спрямовано на удосконалення

високоміцних легованих сталей та розробку зварювальних матеріалів і технологій зварювання відповідальних конструкцій [13]. Серед них була робота за програмою «Буран» (виготовлення стартового комплексу), по створенню імітаторів умов космосу, МГД- генераторів,

пристроїв життєзабезпечення й бортових двигунів космічних систем, нового покоління газотурбінних двигунів. Було розроблено також сталі та необхідні зварювальні матеріали для ядерної енергетики, у тому числі такі, з яких виготовлялися дослідні ядерні космічні установки.



Імітатор космічних умов

Досліди з цими двигунами дозволили дати попередню порівняльну оцінку ідей, запропонованих конструкторами, технологами та науковцями. Без попередньої оцінки на дослідних конструкціях жодна технічна пропозиція не допускалася до впровадження в штатні вироби. Вогневі випробування палив, матеріалів, конструкцій у дослідних двигунах були ніби заліком перед упровадженням їх у натурні вироби, що відпрацьовувалися.

У вересні 1973 р. вийшла постанова Уряду СРСР про створення ракети «Тайфун» морського базування. Розробку двигуна першого ступеня (ЗД65) для цієї ракети доручили КБ «Південне». Створенням двигуна було започатковано розробки в Дніпропетровську серії великогабаритних твердопаливних ракетних двигунів. Відпрацьовування двигуна проходило довго й важко. У складі виробу ЗМ65 його здали на озброєння тільки в 1984 р. [14, 15]. Великогабаритний двигун цього типу розроблявся в країні вперше. Не було готових і перевірених конструкторських, матеріалознавчих і технологічних рішень. Завдяки співпраці з конструкторсько-технологічним бюро в м. Хотьково Московської області, було досягнуто необхідної міцності й знижено масу двигуна.

Технологію термічної обробки великогабаритних заготовок з титанового сплаву ВТЗ-1 для корпусів соплового блоку, кришок і фланців відпрацьовували разом з Верхньосалдинським металургійним заводом. Спеціалістами Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, УкрНДІ важкого машинобудування та Південного машинобудівного заводу було розроблено технологію електронно-променевого зварювання корпусів соплових блоків з титанових сплавів, яка дозволила підвищити конструктивну міцність вузла, зменшити його масу та знизити трудомісткість виготовлення [16].

Інститутом проблем матеріалознавства АН УРСР для облицювань вкладиша критичного перерізу сопла розробили вольфрамо-мідний псевдосплав АВМГ-1, який виготовляється методом прямого гарячого пресування та дозволяє одержувати заготовки деталей діаметром до 800 см. Новий матеріал забезпечив надійну працездатність найбільш теплонапруженої критичної частини сопла. Промислове виробництво облицювань вкладиша з матеріалу АВМГ-1 освоїли на Павлоградському механічному заводі. До нових матеріалознавчих і технологічних рішень, які використовували при розробці ракетних двигунів, слід також віднести технологію виготовлення силових оболонок розтруба, розроблену КБ „Південне” разом з УкрНДІТехмаш і Павлоградським механічним заводом. У середині 70-х рр. лабораторія перспективної технології КБ „Південне” разом з Інститутом механіки АН УРСР почала відпрацьовувати технологію зварювання вибухом триметалевих труб і біметалевих шпангоутів. Виготовили дослідні конструкції, які пройшли випробування на міцність з позитивними результатами і на початку 80-х рр. запустили їх серійне виробництво [14, 17–19].

Складною проблемою газотурбінних двигунів було створення робочої охолоджуваної лопатки, що працює в умовах найбільш жорсткого впливу температури, термоциклічних напруг, активного корозійного та окисного середовища. Температура газу перед робочою лопаткою першої ступеня на сучасних двигунах досягає 1700–1800°C (швидкість реактивного літального апарата пропорційна цій температурі). Було розроблено суперсплави на основі Ni і Ti зі спрямованою й монокристалічною структурами, а також спеціальними видами захисних покриттів. Ідея створення газових турбін багато років не могла бути реалізована через відсутність надійної ефективної технології виготовлення й ремонту деталей і

вузлів з жаромісних спеціальних сплавів. Створення плазмового зварювання, напилення та високотемпературної пайки вирішило багато проблем і стало основою для ефективних комплексних методів виробництва [16].

Ядерні двигуни

Із середини 50-х рр. слідом за розробкою транспортних ядерних двигунів для підводних човнів у СРСР і в США почали займатися ядерними ракетними двигунами (ЯРД), у яких для створення реактивної тяги використовується енергія ядерного палива. Такі двигуни можуть бути рідинними (розжарювання рідкого робочого тіла в нагрівальній камері від ядерного реактора і виведення газу через сопло) і імпульсно-вибуховими (ядерні вибухи малої потужності). Існують різні конструкції ЯРД залежно від агрегатного стану ядерного палива в активній зоні реактора. Для міжпланетних польотів розроблялися проекти ядерно-імпульсних «зірльотів» з масою мільйони тонн, здатні розганятися до 10000 км/с. За робоче тіло правила вода й зріджені гази – водень, аміак і метан. Ракетну частину першого вітчизняного ядерного двигуна РД-0410 було розроблено у воронезькому КБ Хімічної автоматики (КБХА), реакторну (нейтронний реактор і питання радіаційного захисту) – Фізико-енергетичним інститутом (Обнінськ) спільно з Інститутом атомної енергії ім. І.В. Курчатова (Москва). 30 зразків ЖРД для балістичних ракет, ракет-носіїв і космічних літальних апаратів було створено у КБХА, у тому числі, до 1986 р., найпотужніший у країні однокамерний киснево-водневий двигун РД-0120 тягою 200 тс, використаний як маршовий на другому ступені ракетного комплексу «Енергія-Буран» [20].

РД-0410 створювався спільно з багатьма оборонними підприємствами, КБ і НДІ. Низка інститутів АН УРСР брала участь у розробці матеріалів твєлів, лопаток для насосів і осьових турбін, захисної оболонки реактора – сповільнювачів з гідриду цирконію та ін. У

1966–1971 рр. закладено основи технології реакторів-двигунів, а через кілька років на Семіпалатинському ядерному полігоні введено в дію потужну експериментальну базу для випробування реактора (ракетні частини ядерних реакторів випробовували в НДІ хімічного машинобудування (Загорськ, нині Сергієв Посад). У 1976 р. проведено перший енергетичний пуск реактора ІВГ-1. Стенд для випробування «рухомого» варіанту було переустановлено в матеріалознавчий дослідний реактор малої потужності, на якому, зокрема, досліджувалися сплави, виготовлені за технологіями СЕМ Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Найважливішим результатом досліджень було створення нових тугоплавких матеріалів. Хоч подальші розробки таких ЯРД було припинено, результати та досягнення є унікальними у світі.

Здатність матеріалів протистояти руйнівній дії інтенсивного радіоактивного випромінювання, яке змінює їхню структуру і властивості, привернула особливу увагу. У космічних апаратах як джерела живлення застосовують радіоактивний плутоній, вміщений у капсулі з іридієвого сплаву (0,3W, 0,06Th, 0,03Al), які заварюють дистанційно на спеціальному обладнанні дугою в суміші гелію та аргону. Атомні заряди потужністю приблизно у кілотонну на етапі зльоту повинні були вибухати з швидкістю один заряд у секунду. Ударна хвиля (плазмова хмара) повинна була прийматися «штовхальником» – потужним металевим диском з теплозахисним покриттям, відбившись від якого, мала створювати реактивну тягу. Однак незабаром ці програми були закриті. Основною проблемою була міцність екрана-штовхальника, який не витримував величезних теплових навантажень від близьких ядерних вибухів. Було запропоновано кілька технічних рішень, що дозволяли розробити конструкцію плити-штовхальника з достатнім ресурсом. Передбачалося використовувати суперсталі, виготов-

лені за технологіями ЕШП. Проект не було завершено.

В ЯРД реалізувалась класична схема ядерної енергетики. Він складався з нагрівальної камери з ядерним реактором, системи подачі робочого тіла і сопла. Виникла знайома проблема, як в атомних електростанціях, – необхідність розробки сплавів, стійких до радіаційного впливу. ІЕЗ ім. Є.О. Патона отримав завдання – розробити відповідні матеріали й технології виготовлення конструкцій із застосуванням зварювання й паяння. Матеріали, що працюють під дією радіаційного випромінювання, високих температур і значних напружень, у тому числі змінних (переважно це матеріали лопаток), повинні мати високу міцність, опір корозії, розбуханню, повзучості, тепломеханічній втомі та ерозійному зношуванню. Матеріали таких конструкційних елементів повинні добре зварюватись і мати низький коефіцієнт теплового розширення. Було й додаткове ускладнення – звести масу конструкцій реакторів до мінімуму, знайти стійкі матеріали. Ці проблеми було вирішено в інституті за допомогою технологій спецелектрометалургії. З 1980 р. для виготовлення корпусів застосовують сталі з особливо контрольованим вмістом міді та фосфору. З метою економії матеріалів і досягнення необхідних експлуатаційних якостей, для оболонок корпусів ядерних реакторів і паливних елементів почали застосовувати сталеві листи, плаковані ванадієм [21].

Для виготовлення складних вузлів розроблено спеціальні складальні і зварювальні автомати. Зокрема, таке обладнання створено для зварювання траків каналу, тоководів торових колекторів, що являють собою тонкостінне торцеве з'єднання; для зварювання трубок з колекторами; для зварювання трубок із трубною дошкою. Особливі труднощі виникли при монтажі космічних апаратів типу «Єнісей» і «Тополь». За результатами досліджень було розроблено та виготовлено

спеціалізовану камерну установку, що забезпечувало зварювання в контрольованій інертній атмосфері [22].

У реакторах є деталі, які рухаються і зношуються в умовах дії корозійно-активного середовища, отже вимагають періодичної зупинки для заміни й ремонту. Для штанг, валів, тяг тощо розроблено хромисті сталі з високою твердістю після термічної обробки. В ІЕЗ ім. Є.О.Патона створено спеціальні технології електронно-променевого зварювання таких матеріалів, ремонтні технології шляхом наплавлення. Особливою проблемою є технології виготовлення магнітопроводів з магнітом'яких сталей. Розроблені інститутом полегшені, але особливоміцні, балони з тонколистової сталі ЕШП для стислого водню були запущені в серійне виробництво, зокрема, для транспортних засобів на стисненому газі [23].

У період 1970–1988 рр. СРСР запустив у космос понад 30 супутників з ядерними силовими установками малої потужності типу «Бук» і «Топаз». Ці космічні апарати ввійшли в систему морської космічної розвідки та систему «Легенда» (1978 р.) – всепогодну систему спостереження за надводними цілями на всій акваторії Світового океану [24].

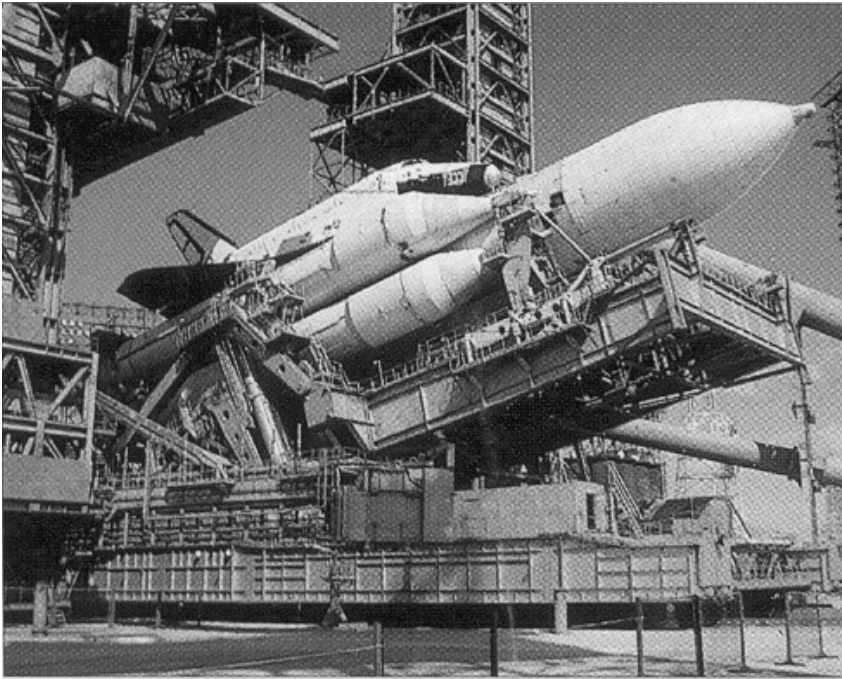
Кріогенні конструкції

З 1960 х рр. в ІЕЗ ім. Є.О. Патона К.А. Ющенком з співробітниками розпочато новий напрям – зварювальне кріогенне матеріалознавство. Кріогеностійкі сталі були вкрай необхідні для створення унікальних конструкцій ракетно-космічної галузі [25]. У 70-х роках разом Фізико-технічним інститутом низьких температур АН УРСР (м. Харків), ІЕЗ ім. Є.О. Патона, НПО «Кріогенмаш» (м. Балашиха, Московська обл.) і ЦНДІ ім. І.П. Бардіна (м. Москва) розроблено принципи виробництва спеціальних сталей, стійких до низьких температур.

Проведені в ІЕЗ дослідження дозволили створити понад 50 нових марок конструкційних добрезварювальних сталей, зварювальних дротів, флю-

сів, а також відповідні технології виробництва і зварювання. К.А. Юшенком із співробітниками виконано значний цикл робіт з оцінювання конструкційної міцності зварних з'єднань при криогенних температурах. Роботи ІЕЗ реалізовано в таких проектах, як «Буран» (стартовий комплекс), «Токамак-7» і «Токамак-15» (силова надпро-

відна магнітна система), великих імітаторах космосу, МГД-генераторах, пристроях життєзабезпечення та бортових двигунах космічних систем, новому поколінні газотурбінних двигунів. Теоретичні дослідження реалізовано при створенні методів розрахунку і норм проектування конструкцій в Україні, Росії та інших країнах.



Стартова платформа «Енергія-Буран»

Принципово по-новому вирішено проблему зварювання для криогенної техніки трубчастих перехідників з різнорідних матеріалів – нержавіючої сталі з алюмінієвими сплавами. Для виготовлення таких деталей використовували зварювання вибухом, дифузійне зварювання або металургійний прокат біметалу. Всі ці способи вимагають обов'язкового контакту чистого алюмінію зі сталлю. У цьому виді з'єднання міцність є на рівні чистого алюмінію, а через наявність у зоні переходу інтерметалідного прошарку його працездатність в умовах тепломінів буде обмеженою.

В ІЕЗ було розроблено спосіб зварювання матеріалів, при якому виключено прямий контакт алюмінію зі сталлю.

Сталь для гіроскопів

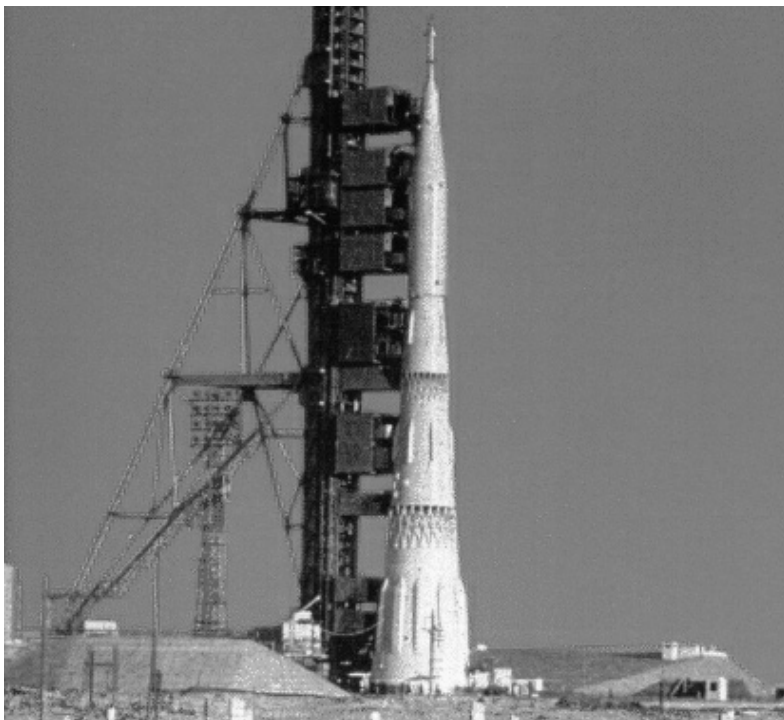
Гіроскопи є вузлом у системи наведення на цілі та підтримання курсу польоту. Надійність виконання цієї функції залежить, зокрема, від якості підшипників. Перший у світі ЕШП впроваджено 1958 р. на заводі „Дніпроспецсталь” саме для виробництва підшипникової сталі. Невдодві печі ІЕЗ і технологія ЕШП за допомогою фахівців „Дніпроспецстали” також було впроваджено на заводі „Електросталь” (Мос-

ковська обл.). Упродовж наступних років навантаження на ракетні конструкції зростали. Для поліпшення якості підшипникових сталей в ІЕЗ продовжували розробляти технології рафінуванням їх від газів, шкідливих домішок і неметалічних включень. Найефективніший процес електронно-променевої плавки сталі ШХ15 як безпосередньо в кристалізатор, так і з застосуванням проміжної ємності [15].

Транспортне та пускове обладнання

Стартові ракетні комплекси являють собою складні інженерні спорудження вагою багато сотень тонн і забезпечують переведення підвезеної ракети з горизонтального положення у вертикальне та готовність усього устаткування для остаточної підготовки її до пуску. Стартові комплекси проектували в КБ Спецмашина під керівництвом В.П. Барміна, у виготовленні брали участь багато заводів і будівельних установ. Але провідним

підприємством по виробництву силових транспортно-підйомних конструкцій став Новокраматорський машинобудівний завод (НКМЗ). Починаючи з 1940 р., він був полігоном випробування і брав участь в удосконаленні нової зварювальної техніки, розробленої в ІЕЗ (автоматичне електродугове зварювання, електрошлакове зварювання, зварювання у вуглецевому газі та ін.). У 1949 р. тут виготовлено перші лафетні установки і підйомний кран для перших ракет С.П. Корольова Р-1 і Р-2; 1950 р. – обладнання для запусків перших крилатих ракет ОКБ В.М. Челомея; 1954 р. – установник для ракети С.П. Корольова Р-5 і кабіни першого стартового комплексу ракети Р-7; стартове обладнання для міжконтинентальних крилатих ракет з ядерними зарядами „Буря” та інших розробок ОКБ С.А. Лавочкина. Претензій до зварних конструкцій комплексів ніколи не було.



«Місячна ракета» на старті

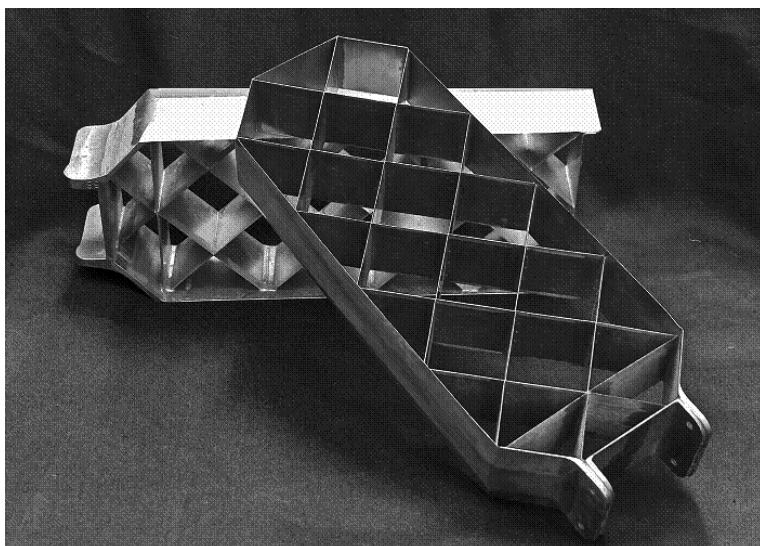


Транспортно-стартова установка ракети «Протон»

На НКМЗ вже в 1959 р. упроваджену першу піч ЕШП. У 1961 р. на підставі Постанови Ради Міністрів СРСР НКМЗ став головним підприємством по створенню комплексу наземного обладнання для міжконтинентальної балістичної ракети Р-16 ОКБ-586. Більшість вузлів виготовляли на НКМЗ з високоміцної сталі, виплавленої за ЕШТ із застосуванням електрошлакового зварювання, тобто виключно за вітчизняними технологіями [26]. Високоміцні сталі, виготовлені за технологіями спецеелектрометалургії, було застосовано при виробництві стартових комплексів „Шексна” і Р-36 шахтного базування, опорно-поворотних конструкцій радіолокаційних станцій та ін. Спеціалісти НКМЗ виготовили транспортно-установочні агрегати для ракети Н-1, ракетно-космічної системи „Енергія”-, „Буран” та ін. [27].

У 1963 р. Дружковському машинобудівному заводу урядовою постановою було доручено виготовити транспортний електровоз для транспортування на хімкомбінатах твердого ракетного палива. Фахівці СКБ за-

воду мали значний досвід у проектуванні гірничо-шахтного устаткування, у тому числі підземного – електровозів, гірвозовів, вагонеток, породонавантажувальних машин. Однак цього разу необхідно було перевозити вантаж масою до 100 т по рейкових шляхах залізничної колії. Відповідно до завдання, на заводі було сконструйовано й виготовлено електровози Т-20 масою понад 20 т. У 1966 р. на Дружковському заводі створено акумуляторний локомотив 11Т125. Першу їх партію було негайно відправлено на полігон Байконур; у 1973 р. і в 1990 р. завод виконав додаткові замовлення. У 1978 р. дружковські машинобудівники виготовили агрегат 11Т186 для ракетно-космічного комплексу «Зеніт» і комплексу ЗФ-65 для навантаження-розвантаження балістичних ракет з ядерними боєголовками на атомні підводні човни (м. Северодвінск). Надійність функціонування впродовж двадцяти і більш років досягнуто завдяки застосуванню високоякісних сталей, виплавлених за технологією ЕШП у Краматорську [28].



Гратчасті конструкції ракетних рулів, виконані із застосуванням паяння

Конструкції вузлів керування ракетами зі спеціальних сплавів

Для керування ракетами багатьох типів застосовують гратчасті крила. Гратчасті конструкції являють собою просторову систему, що складається з великої кількості профільованих або плоских планів, з'єднаних між собою боковинами. Крила можуть бути з паралельним або діагональним набором планів із квадратними й шестиграними стільниками. У зв'язку з труднощами використання зварювання й інших технологій для їхнього виготовлення, пайка є найбільш ефективним способом з'єднання. Крім того,

можливо застосування водночас різних технологічних процесів [11, 29]. При створенні ракет „повітря – повітря”, „повітря – земля” ІЕЗ було доручено розробити технологію виготовлення гратчастих рулів з високоміцних сталей 30ХСА, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 08Х25Н16Г7АР (ЭИ835), 10Х16Р4БА (ЭП 56, ЭП 258); сплавів на основі титана – ВІД4, ВТ6; на основі ніобію – ВН2; на основі молібдену – ВМ1; танталу й вольфраму – ВВ1 і т.п.[29, 30]. Було запропоновано нову конструкцію керма, припій, технологію пайки, технологічна лінія та устаткування.

1. Патон Б.Е., Макара А.М. Экспериментальное исследование процесса автоматической сварки под слоем флюса / Б.Е.Патон., А.М. Макара – К.: ИЭС АН УССР. – 1944. – 45с.

2. Технология электрической сварки плавлением: Учеб. пособие для вузов /Под ред. Б.Е.Патона. – М.; К.: Машгиз, 1962. – 663 с.;

3. Патон Б.Е. Новый способ электрической отливки слитков/ Б.Е. Патон, Б.И.Медовар, В.Е. Патон //Бюл. техн. инфор. НТО Машпром.-1956.-68с]

4. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Латаш Ю.В. Электрошлаковый переплав сталей и сплавов в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе // Автомат, сварка. – 1958. – № 11. – С. 5-15. *

5. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Латаш Ю.В. Современное состояние и перспективы дальнейшего развития электрошлакового переплава на Украине // Металлург, и горноруд. пром-сть. – 1962. - № 5. - С. 12-19.

6. Архів ІЕЗ ім. Є.О.Патона. Фонд 1 протоколи, д. 15, л. 85, 131, 145

7. Космос: технологии, материаловедение, конструкции / Сб. науч. Трудов под редак. акад. Б.Е. Патона. - Киев: 2000. – 380с.

8. Глушко В.П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. -2-е изд., доп. – М.: Машиностроение,- 1981. – 208 с.

9. Гришин С.Д., Лесков Л.В. Индустриализация космоса. – М.: Наука. – 1981. – 238 с.

10. *Савчук В.С.* Витоки ракетобудування в Україні /В.С.Савчук, Ф.П.Санін // Альманах ФТІ ДНУ. – 2000. – 182с.
11. *Хорунов В.Ф.* Разработка припоев для пайки жаропрочных сплавов на основе никеля и титана / В.Ф.Хорунов, С.В.Максимова, В.Г.Иванченко // Автоматическая сварка. – 1985. – № 6. – С. 28-30.
12. *Глушко В.П.* Ракетные двигатели ГДЛ – ОКБ. / В.П.Глушко. М.: Изд-во АПН, 1975. 247с.
13. *Yaschnko K.A.* Low temperature weldable steels and alloys // Advances cryogenic engineering: Proc. of the 2nd Intern. cryog. mat. conf., August 2-5, 1977 Boulder, Colorado, USA. – 1977. - Vol. 24. - P. 120-128.
14. *Призваны* временем. От противостояния к международному сотрудничеству / В.Г.Васильев, С.Н.Конюхов, А.Н.Машенко и др., Под ред. С.Н.Конюхова. - Днепропетровск. - «Арт-Пресс» - 2004. -768с.
15. *Ракеты* и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / под ред С.Н. Конюхова. – Днепропетровск: – «КБЮ».- 2000.- 239с.
16. *Патон Б.Е.* Электронно-лучевая плавка / Б.Е. Патон, Н.П.Тригуб, Д.А.Козлитин, С.В.Ахонин, А.Я.Дереча, П.А.Пап. Киев.- Наукова думка.-1997.-265 с.
17. *Розвиток* ракетно-космічної техніки в Україні. Ф.П. Санін, Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, В.В. Хурторний. – Дніпропетровськ: «АРТ-ПРЕС». – 2002. – 401с.
18. *Джур Е.А.* Технология производства космических ракет. /Е.А.Джур, С.И.Вдовин, Л.Д.Кучма и др./Днепропетровскб Изд-во ДГУ. – 1992. -184с.
19. *Волокнистые* и дисперсноупрочнённые композиционные материалы / И.Н.Францевич // Академик Иван Никитович Францевич: ВУ 2т. – Киев, 2008. – Т.1. – 756с.
20. *Лейтунский А.И.* Избранные труды. Воспоминания. – К.: Наук. думка, 1990 АЭ, 1972, вып.3; 1978, вып.5, с. 401-402.
21. *Сварка* разнородных, композиционных и многослойных материалов. Сборник научных трудов./ Под ред. Б.Е. Патона – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. – 1990. – 142с.
22. *Неорганическое* материаловедение. В двух томах. Энциклопедическое издание. Под ред. Г.Г.Гнесина, В.В.Скоророда. Материалы и технологии. Том 2. Книга 1. А- О. Киев.: Наукова думка.- 721с..
23. *Патон Б.Е.* Перспективы применения высокопрочных среднедегированных сталей в сварных баллонах высокого давления для автотранспорта /Б.Е.Патон, М.М. Савицкий // Автомат. сварка. - 1994. - № 3. – С. 4-9
24. *Оборудование* и технология для сварки космических ядерных установок./ Букаров В.А. Деятельность НИКИМТ в области сварки.// М.: - ИздАТ.- 2002. – С. 275 – 279.
25. *Ющенко К.А.* Современное состояние и перспективы развития сварки в криогенном машиностроении К.А. Ющенко // Актуальные вопросы в криогенном машиностроении. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР, 1979. – С. 3-12.
26. *История* развития сварочного производства на ЗАО «НКМЗ» 1949-2009. Краматорск, - 2009. – 97с.
27. *Электрошлаковый* металл / Под ред. Б.Е. Патона, Б.И. Медовара. – Киев: Наук. думка, 1981. – 680 с.
28. *Широкорад А.Б.* Энциклопедия отечественного ракетного оружия. М.: Аст. Минск: Харвест, 2003. – 542с.
29. *Материалы* УШ Всесоюзного совещания по сварке разнородных, композиционных и многослойных материалов. (Киев, 16-18 февраля 1982г.) Киев: ИЭС им. Е.О Патона. – 1983. – 124с.
30. *Решетчатые* крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации. / под ред. С.М. Белоцерковского и др. Москва: Новый центр. – 2007.- 407с.

Одержано 22.05.2014

А.П. Лютий

**Вклад Института электросварки им. Е.О.Патона
в изготовление стальных конструкций ракет**

Институт электросварки им. Е.О. Патона был создан 80 лет назад, это первое в мире научно-исследовательское и конструкторское учреждение по изучению и разработке сварки и родственных технологий. Свыше 60 лет под руководством Б.Е.Патона тут решаются проблемы ракетно-космической техники. Для конструкций, которые эксплуатируются в экстремальных условиях, разработаны специальные сплавы, технологии их производства и сварки.