Космічні рубежі електрозварювання

27 листопада 2018 р. — знаменна дата, бо в цей день науково-технічна і інженерна спільнота відзначає 100-річчя двох видатних подій у житті України.

Перша подія — у цей день була створена Академія наук України на чолі з видатним вченим Володимиром Вернадським.

Друга подія — того ж дня в сім'ї відомого мостобудівника, інженера і вченого Євгена Оскаровича Патона народився син Борис, якому долею було призначено стати не тільки директором Інституту електрозварювання, а й бути обраним у 44 роки восьмим президентом Академії наук України, яка на той час об'єднувала більш 140 міцних наукових закладів і внесла потім ваговий внесок у розвиток вітчизняної науки і техніки практично у всіх напрямках.

Борис Патон у роки війни разом з батьком займався розробкою та впровадженням автоматичного зварювання танкових башт під шаром флюсу на заводі у Нижньому Тагілі, де проявив талант дослідника, інженера й керівника робіт.

Після повернення ІЕЗ у Київ Борис Патон продовжує науково-дослідну діяльність, у 1950 р. йому разом з працівниками промисловості була присуджена Сталінська премія 3 ст. В 1953 р., враховуючи здібності науковця, інженера і керівника, Борис Патон був призначений на посаду директора Інституту електрозварювання у м. Київ.

Цю посаду Б. Є. Патон обіймає дотепер, поєднуючи роботу в ІЕЗ з виконанням обов'язків президента Національної академії наук України, ким він був обраний у 1962 р., і переобирався до нинішніх часів.

За видатні досягнення й успіхи в розвитку науки й техніки, втілення їх у виробництво на багатьох підприємствах країни Борис Євгенович Патон удостоєний звання двічі Героя Соціалістичної праці у 1969, 1978 роках, Героя України у 1998 р., він є лауреатом Ленінської премії СРСР (1957 р.), двох Державних премій України (1970 і 2004 рр.). Цікаво відзначити, що Державна премія України у 2004 р. була присуджена за роботу з електрозварювання м'яких живих тканин. Це ще раз підкреслює широту наукових інтересів Б. Є. Патона, його щиру зацікавленість у пошуках невідомого.

Цілком зрозуміло, що життєві й наукові шляхи Бориса Євгеновича Патона обов'язково повинні були перетнутися з Південним машинобудівним заводом — виробником різноманітної ракетно-космічної техніки: балістичних ракет, ракет–носіїв, космічних апаратів оборонного, наукового й народно-господарського призначення. Декілька зразків творчої співпраці ІЕЗ ім. Є. О. Патона й особисто Бориса Євгеновича наведені в цьому нарисі.

Історія співробітництва Південмашу з Інститутом електрозварювання імені Є. О. Патона розпочалася більше шістдесяти років тому. Тоді молодий ще завод мав гостру потребу в надійних технологіях з'єднання металевих елементів конструкції ракет та їх окремих вузлів, серед яких були і такі відповідальні, як, наприклад, двигуни. Втім, невідповідальних з'єднань в ракеті взагалі немає, незалежно від того, бойова ракета чи космічна. Будь-який брак, найменше порушення технологічного процесу, мікроскопічна вада матеріалу, ненадійне з'єднання чи ще щось, може призвести і неодноразово призводило до фатальних наслідків. Історія ракетної техніки і, зокрема, космонавтики має безліч тому прикладів.

Широко поширені технології з'єднання, такі, як болтове або заклепкове, мали суттєві недоліки, серед яких висока трудомісткість, збільшення ваги конструкції, негерметичність з'єднання. Все це було або небажаним при виробництві ракет, де йшла запекла боротьба за кожний грам загальної ваги, або взагалі виключало використання традиційних технологій.

Таким чином, співробітництво ракетобудівників і науковців в сфері зварювання було дуже бажаним. Виявилося воно напрочуд плідним і триває дотепер.

Сторонній людині, а тим більше людині, далекій від техніки, може здаватися дивним і таке довготривале співробітництво, і взагалі тема зварювання як предмету наукових досліджень і невпинного інтересу розробників і виробників. Саме тому варто детально розглянути історію співробітництва Південмашу з ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Це дозволить оцінити різноманіття спільно розроблених технологій зварювання та деякою мірою осягнути, що саме криється за усталеним виразом «високі технології». Усі наведені далі приклади і є ті самі високі технології.

Однією з перших втілених в життя розробок в сфері зварювання на Південмаші було створення устаткування і технології електронно-променевого зварювання жароміцних сталей і сплавів для виробництва двигунів бойових балістичних ракет і космічних ракет-носіїв. Роботи з впровадження технології тривали протягом 1960-1970-х рр.

Майже водночас, а саме в 1966-1970 роках на Південмаші було впроваджено технологію зварювання тертям, за допомогою якого забезпечується з'єднання біметалічних перехідників алю-

Б. Є. Патон з генеральним директором Південмашу Ю.С. Алексєєвим (1998 р.). *Зліва-направо*: Коротков О. С. (головний інженер), Ржанов Б. П. (головний зварник), Патон Б. Є., Алексєєв Ю. С.

міній-сталь (АМг-6+Х18Н10Т). Технологія зварювання тертям успішно використовується на Південмаші і досі, зокрема, у виробництві інструмента.

Наступною технологією, яку також опановували у 1960-ті роки, було зварювання титанових сплавів в контрольованому середовищі.

Відоме визначення титану як космічного металу, має серйозне підґрунтя. Слід зазначити, що насправді титан в чистому вигляді в машинобудуванні практично не використовується, а під словом «титан» розуміють титанові сплави. Поєднання властивих титановим сплавам легкості та міцності і обумовлює їх особливу цінність в галузях машинобудування, де є підвищені вимоги до ваги і міцності. На Південмаші титанові сплави використовуються як конструкційний матеріал для корпусів двигунів, сопел, кулебалонів високого тиску, тощо. Віднедавна до них приєдналися і стойки шасі літаків.

Проте, титанові сплави мають купу властивостей, які затрудняють їх зварювання. Серед них невисока теплопровідність, схильність до самозаймання при нагріванні до 400 °С і контакті з киснем, утворення крихких нітридних з'єднань при нагріванні до 600 °С і прямому контакті з азотом, схильність до поглинання водню при нагріванні до 250 °С. Узагальнюючи, можна сказати, що вже при незначному для зварювання підвищенні температури титанові сплави різко підвищують хімічну активність, що, при контакті з атмосферним повітрям, спричинює послаблення зварного шву та робить метал в його області неприпустимо крихким.

Але переваги від використання титанових сплавів все ж настільки вагомі, що довелося вирішувати проблему їх зварювання. Це виявилося нетривіальним завданням. Крім здійснення операції у спеціальній камері з інертним газом, треба було відпрацьовувати й інші елементи технологічного процесу. Для кінцевого успіху виявилося за необхідне жорстко дотримуватися цілого переліку умов: ретельне зачищення і знежирення поверхонь, видалення з них оксидної плівки, шліфування. Так само потребує підготовки і присадний дріт. І це не все. Використовуються спеціальні електроди, швидкість їх руху має бути постійною, треба також уникати коливань електроду і дотримання певного куту його нахилу відносно зварного шву. Оптимальні значення усіх цих параметрів було визначено в ході дослідних робіт, їх дотримання забезпечено створенням устаткування для автоматичного зварювання.

Цікаво, що якість зварного шва на деталях з титанового сплаву можна визначити без застосування технічних засобів неруйнівного контролю, які теж обов'язково використовуються. Найпростіший метод візуального контролю — за кольором, оскільки тільки рівний сріблястий колір шва за відсутності тріщин і пор свідчить про належне дотримання усіх технологічних вимог.

Але не титаном єдиним… Найбільшу частину сухої маси ракети займають сплави з алюмінію. Такі сплави, як АМг-6, поєднують достатню міцність, високу пластичність, корозійну стійкість та зварюваність,

стійкість до вібрацій. На його основі на початку ери реактивної авіації навіть виготовляли авіаційну протиосколкову броню.

Знайшлося сплаву АМг-6 місце і в ракетобудуванні. Але, незважаючи на гарну зварюваність, виникли проблеми із з'єднанням деталей, які потрібно було зварювати по всій площі перетину великого розміру. Раніше для цього застосовувалося ручне аргонодугове зварювання, яке не задовольняло потреби виробництва за цілою низкою чинників. Основними недоліками були неналежна якість і надійність з'єднань внаслідок впливу людського фактору. При цьому виявлений брак відправляв у відходи деталі, які пройшли до того багато операцій з механічної обробки, тобто ціна помилки була завеликою. Незадовільною була і продуктивність праці при ручному зварюванні.

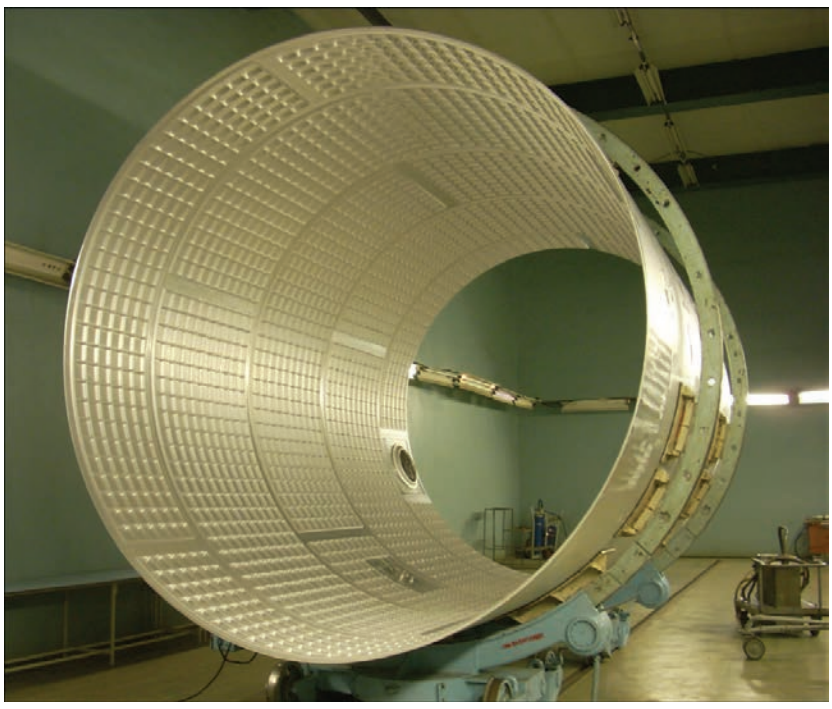
Тому з ініціативи головного зварника Південмашу В. В. Бородіна і після консультацій з фахівцями ІЕЗ ім. Є.О. Патона було вирішено створити устаткування і технології контактного стикового зварювання шпангоутів силового набору корпусів ракет зі сплаву АМг-6 великого перетину. Роботи тривали з кінця 1960-х до середини 1970-х рр., коли усі поставлені завдання було виконано.

Десятьма роками пізніше, в першій половині 1980-х, було також створено устаткування і технології для контактного стикового зварювання обичайок корпусів ракет діаметром до 3900 мм з полотном завтовшки до 40 мм і перетином до 80 тис. мм^2.

При цьому також використовується метод зварювання оплавленням. Розробка використовувалася при виробництві найвідоміших південмашівських ракет – 15А18М (більш відома як «Сатана») для ракетного комплексу Р-36М2 «Воєвода» та космічних ракет-носіїв сімейства «Зеніт», які в світі визнані кращими в своєму класі та виробляються дотепер. Цікаво, що і «Сатані» теж довелося підкорювати космос під назвою «Дніпро». Це відбувалося в рамках конверсійної програми, яка передбачала використання знятих з бойового чергування ракет для виведення комерційних супутників на орбіту. Всього було виконано понад півтора десятка пусків, і всі вони були успішні. Зважаючи на чималий строк перебування ракет під компонентом на «військовій службі», яка передувала космічним пускам, їх надійність просто вражає.

Для датчиків систем управління витрат палива РН «Зеніт» у тих же 1980-х було впроваджено і лазерне зварювання тонколистових конструкцій. Його необхідність була спричинена неможливістю в інший спосіб отримати надійне зварне з'єднання. На заваді ставала мала товщина конструкції, яка при нагріванні під час використання інших технологій зварювання неприпустимо деформувалася, що призводило до пропалу основного металу.

На відміну від подібного електронно-променевого зварювання, лазерне не потребує використання спеціальних вакуумних камер. Здійснюється лазерне зварювання тонколистових конструкцій з використанням малих потужностей лазерного випромінювання, яке безпосередньо нагріває лише зовнішній шар металу, а нагрівання на всю товщину відбувається за рахунок теплопровідності. Крім принципової можливості зварювання тонколистових конструкцій технологія відрізняється гарною якістю швів і високою швидкістю зварювання.



Зварний корпус І-ступені РН «Зеніт»

Завдяки цим спільним з ІЕЗ роботам стало можливим серійне виробництво ракетних комплексів третього покоління, серед яких Р-36 (ракета 8К67), Р-36М (ракета 15А14) та їх подальші модифікації. Згодом до них приєдналися космічні ракети-носії сімейства «Циклон» та «Зеніт». Особливе місце в цьому переліку займає космічна ракета-носій «Циклон-2», яка має неперевершену в світі надійність. За час її експлуатації було виконано 106 пусків, і всі вони були успішні. Безперечно, в цьому досягненні є і вагомий внесок розробок ІЕЗ.

Свого часу описані технології випереджали час і були секретними. З незначними доробками і несуттєвим вдосконаленням вони використовуються дотепер. І це

Контактно-стикове зварювання корпусів РН «Зеніт» (машина К825)

зовсім не ознака технологічного занепаду. Просто для конкретних виробничих завдань кращих технологічних рішень ще не винайшли.

Співробітництво Південмашу та ІЕЗ ім. Є. О. Патона триває та продовжує розвиватися. Розробляються нові технологічні комплекси, модернізуються існуючі, впроваджуються сучасні системи контролю. Всупереч чуткам про кризу вітчизняної науки, ІЕЗ ім. Є.О. Патона надає суттєву допомогу Південмашу і в підготовці серійного виробництва нових перспективних зразків ракетної та космічної техніки.

Ось стислий перелік робіт, які виконуються для Південмашу прямо зараз.

1. Розробка технології та зварювального оснащення для контактного стикового зварювання оплавленням профілів повздовжнього силового набору ракети-носія з високоміцного алюмінієвого сплаву.

2. Розробка технології та спеціалізованого устаткування для контактного стикового зварювання оплавленням таврових профілів повздовжнього силового набору ракети-носія з високоміцних алюмінієвих сплавів.

3. Налагодження роботи комп'ютеризованої системи контролю параметрів зварювання та технічного стану зварювальної машини та розробка на її базі комп'ютеризованої системи керування процесом зварювання.

4. Розробка технологій контактного стикового зварювання пульсуючим оплавленням шпангоутів та обичайок та розробка проектів модернізації машин для їх реалізації.

5. Модернізація машини для зварювання інструмента.

6. Авторський нагляд при експлуатації та ремонті машин для контактного стикового зварювання шпангоутів та технологічна допомога при відпрацюванні режимів зварювання шпангоутів.

Перелік начебто і невеликий, але достатньо насичений, наукомісткий і непогано ілюструє стан справ і на Південмаші, і в ІЕЗ ім. Є. О. Патона.

В цьому невеликому за обсягом нарисі висвітлено лише частку здобутків Інституту за його 84-річну історію. Ту частку, яка стосується ракетно-космічного машинобудування і лише в тій частині, яку можна побачити з Південмашу. Без зайвого перебільшення можна стверджувати, що без внеску ІЕЗ ім. Є. О. Патона, без самовідданої праці поколінь його науковців, без особистості його керівника, Бориса Євгеновича Патона, який 27 листопада відзначатиме 100-річний ювілей, не було б численних бойових і космічних українських ракет, а Південмаш і КБ Південне мали б набагато скромнішу історію здобутків. Якщо ж оцінити у сукупності внесок Інституту у наше сьогодення, то і сучасна Україна мала б зовсім не той вигляд, до якого ми звикли.

Керівництво і колектив працівників
ДП «ВО Південні машинобудівні заводи ім. О. М. Макарова»