



**КРАВЧЕНКО**  
**Ігор Федорович** –  
член-кореспондент  
НАН України,  
Генеральний конструктор –  
директор ДП «Івченко-Прогрес»

## **СПІВРОБІТНИЦТВО ДП «ІВЧЕНКО-ПРОГРЕС» З УСТАНОВАМИ НАН УКРАЇНИ ПОСТІЙНО РОЗШИРЮЄТЬСЯ**

Вельмишановні члени Академії!

Сучасний авіаційний двигун є одним з найбільш наукомістких і високотехнологічних продуктів, рівних якому за величинами напружень і тепловими режимами експлуатації деталей немає серед інших виробів машинобудування.

Прогрес у створенні авіаційного двигуна нерозривно пов'язаний з передовими досягненнями в галузі матеріалознавства, металургії, хімії, а також забезпечується використанням сучасних технологій та методології організації всіх стадій створення двигуна: науково-технічних розробок, проектування, виробництва та експлуатації. Такий продукт можна створити лише в тісній кооперації передової науки та виробництва. Тому без участі фахівців НАН України не можна створити перспективний авіаційний двигун, який буде конкурентоспроможним на світовому авіаційному ринку.

Як наслідок, у 2010 р. ми підписали Угоду № Д7541318.35.0057 про науково-технічне співробітництво ДП «Івченко-Прогрес» з науковими установами і організаціями НАН України в галузі розроблення нових газотурбінних двигунів авіаційного і промислового призначення, підвищення технічних характеристик ефективності та ресурсу, супроводу і ремонту техніки в експлуатації.

Разом з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України було відпрацьовано технологічний процес виготовлення на дослідному виробництві секторів лопаток турбіни соплового апарата газотурбінного двигуна з використанням з'єднання окремих литих лопаток у сектор методом реакційно-дифузійного з'єднання (РДЗ). Оцінку якості з'єднання виконано за допомогою неруйнівних методів контролю (ЛІОМ1-ОВ та комп'ютерної томографії, виконаної у рамках європейського проекту AERO.UA в Технологічному інституті військово-пові-



**Рис. 1.** Розрахункова модель сектора біметалевого диска турбіни для технології зварювання, розробленої в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України



**Рис. 2.** 3D-модель корпусної деталі для сімейства двигунів AI-450, що планується виготовляти з високоміцного алюмінієвого ливарного сплаву розробки Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

тряних сил (ITWL, м. Варшава), на томографі X-Ray фірми General Electric), а також металографічно на технологічному зразку. Тривала міцність цього типу з'єднання становить не менш як 80% міцності основного матеріалу.

Напрацювання в експлуатації комплексу секторів лопаток, з'єднаних методом РДЗ у складі двигуна Д-18Т серії 3, становить приблизно 1500 годин.

У співпраці з вченими Інституту електрозварювання виконано комплекс робіт з розроблення та випробування технології зварювального з'єднання різнорідних за призначенням металевих матеріалів, а саме: дискових нікелевих жароміцних сплавів з нікелевими ливарними суперсплавами для реалізації конструкції біметалевого моноколеса турбіни (рис. 1). Підтверджено характеристики з'єднання, зокрема довготривалу міцність на зразках. Зараз триває процес реалізації технології на зразках-імітаторах деталі.

Спільно з Інститутом металофізики ім. Г.В. Курдюмова проводяться роботи з розроблення високоміцного алюмінієвого ливарного сплаву для роботи за температур до 100°C (рис. 2). Сплав планується використовувати для отримання виливків корпусних деталей авіаційного двигуна. Підібрано хімічний склад сплаву та розроблено технологію його виплавки. Результати попередніх випробувань

механічних властивостей на зразках підтверджують відповідність сплаву заданим характеристикам. Надалі заплановано всебічне дослідження властивостей сплаву та випробування технології отримання виливків деталей.

Фахівці ДП «Івченко-Прогрес та Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України продовжують співробітництво у створенні високотемпературного титанового сплаву, що деформується, — системи ЖТ-19. Сплав має працездатність до 700°C та призначений для робочих лопаток останніх ступенів компресорів і турбін газотурбінних двигунів. Завершується проведення випробувань на зразках, дослідження широкого спектру властивостей міцності за різних температур, розпочато виготовлення партії робочих лопаток компресора для визначення втомної міцності.

Відповідно до технічного завдання на розроблення жаростійких, жароміцних керамічних матричних композитів для виготовлення жарових труб та інших деталей камери згоряння, в Інституті проблем матеріалознавства створено технологію отримання ультрависокотемпературної кераміки різних складів для використання в конструкціях авіакосмічної техніки та для перспективних газотурбінних двигунів (ГТД). Випробувано 4 різних склади ультрависокотемпературної кераміки, з яких найперспективнішим керамічним матеріалом для застосування в конструкції деталей гарячої частини ГТД виявився матеріал на основі бориду цирконію. Зразки з матеріалу цього складу пройшли запланований обсяг термоциклічних випробувань (6000 циклів).

На ДП «Івченко-Прогрес» виконано термоциклічні випробування деталей у складі дослідних відсіків: керамічних конусів і сегментів, виготовлених в Інституті проблем матеріалознавства. Отримані результати дозволяють виконати випробування у складі технологічного двигуна.

Для авіаційного двигунобудування важливим напрямом розвитку є застосування підшипників з тілами кочення з керамічних матеріалів, що підвищує працездатність підшипників за вищих швидкісних параметрів.

Особливостями підшипників з керамічними тілами кочення є збільшений ресурс, стабільна робота при високих швидкостях, розмірна стабільність (збереження геометрії при зміні температур), менша вага, несприйнятливості тіл кочення до агресивних речовин, зниження тертя й тепловиділення, а тому їх можна використовувати в розширеному температурному діапазоні.

ДП «Івченко-Прогрес» та Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України співпрацюють у цьому напрямі з 2016 р. Було узгоджено основні напрями співпраці зі створення керамічних матеріалів для тіл кочення підшипників і розроблено технічне завдання. Перший етап виконано вже в 2017 р. — проведено роботи з одержання кульок великого розміру (до 42 мм). При цьому виконано моделювання процесу гарячого спікання керамічних матеріалів під високим тиском, розроблено і виготовлено необхідне технологічне обладнання. Потім проведено роботи з визначення фізико-механічних характеристик керамічних матеріалів для високонавантажених і високошвидкісних підшипників.

Зараз триває спільна робота з виготовлення комплектів тіл кочення з кераміки на основі карбіду бору та нітриду кремнію (діаметр — 12,7 мм) з різномірністю в комплекті 1 мкм для радіального шарикопідшипника.

Фахівці Інституту надтвердих матеріалів виготовили комплект правлячих алмазних роликів (рис. 3), застосування яких дозволило скоротити час на виправлення, а в деяких випадках навіть виключити його, що дало змогу підвищити продуктивність праці при обробці на 20–30%. При виправленні кругів алмазними роликами методом шліфування виникають менші сили, ніж при виправленні кругами з карбіду кремнію. Алмазні ролики сприяють високій точності виправленої поверхні шліфувальних кругів, а отже, і їх раціональним витратам при шліфуванні.

Ролики, що мають складний фасонний профіль, дозволяють здійснювати одночасне виправлення кругів по кількох робочих поверхнях: прямолінійних, криволінійних, і завдяки



**Рис. 3.** Виготовлені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України дослідні зразки правлячих алмазних роликів для глибинного шліфування

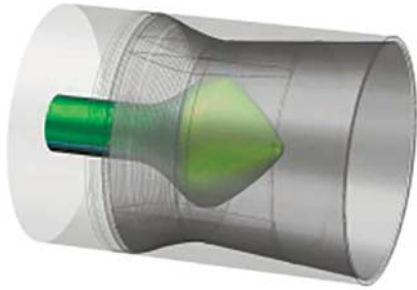
цьому значно підвищити продуктивність шліфування. Виправлення круга алмазним роликом здійснюється з використанням методу врізання або методу поздовжньої подачі.

Отримані алмазні ролики мають низку переваг порівняно з відомими аналогами, а саме: забезпечують стабільне зниження шорсткості; зменшують напруження на периферійних поверхнях у 2–3 рази; знижують глибину і ступінь наклепу в 2–3 рази; поліпшують структурно-фазовий стан поверхневого шару; зменшують імовірність появи мікротріщин у поверхневому шарі лопаток.

Спільно з Інститутом проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України проводяться роботи з розроблення методології запобігання руйнуванню в експлуатації попарно бандажованих лопаток авіаційних ГТД, а також з ініціювання формування загальнодержавних науково-технічних програм щодо вирішення проблем створення конкурентоспроможних на світовому ринку вітчизняних двигунів, розроблення нормативних документів для забезпечення їх надійності.

З Інститутом проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України проведено спільні розрахункові дослідження аеродинамічної стійкості до флатера робочих лопаток вентилятора двигуна Д-436-148ФМ. Отримано результати розрахунків аеропружних характеристик і коефіцієнтів аеродемпфірування лопаткового вінця вентилятора при гармонійних і пов'язаних коливаннях за різних кутів зсуву по фазі коливань лопаток.

Ще одним напрямом спільних робіт з Інститутом проблем машинобудування є розвиток і



**Рис. 4.** Тривимірний вигляд геометрії одного з варіантів надзвукового сопла з центральним тілом, геометрію якого було отримано за допомогою розробленого в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України комплексу програм

вдосконалення методу розрахунку просторової течії в'язкого турбулентного газу в проточних частинах турбомашин, який розроблено в ІПМаш і широко використовується на ДП «Івченко-Прогрес» при аеродинамічному проектуванні газових турбін різного призначення. Метод, що ґрунтується на добре відомому програмному коді FlowER, дозволив спроектувати цілу низку сучасних високотемпературних та високоперепадних турбін. Метою вдосконалення методу є підвищення точності та надійності розрахунків, зниження трудомісткості їх обробки, прискорення пошуку найбільш раціональних конструктивних рішень.

У результаті співпраці з Інститутом технічної теплофізики НАН України розроблено методику розрахунку ефективності плівкового охолодження соплових і робочих лопаток турбін, яка включає інженерні співвідношення для розрахунків середньої по ширині поверхні ефективності плівкового охолодження та коефіцієнта тепловіддачі. Результати цих робіт використано в програмі розрахунку плівкового охолодження FILMCKPI, розробленій на ДП «Івченко-Прогрес», при проектуванні й створенні перспективних лопаток з конвективно-плівковим охолодженням.

У рамках НДР з визначення вигляду перспективного прямооточного повітряно-реактивного двигуна (ППРД) для ракет космічного призначення фахівці ДП «Івченко-Прогрес»

опрацювали концепцію зміни площі реактивного сопла за допомогою центрального тіла.

Спільно з Інститутом кібернетики ім. В.М. Глушкова та Українською інженерно-педагогічною академією виконано НДР «Розроблення комплексу програм побудови теоретичних контурів зовнішньої і внутрішньої поверхонь сопла з центральним тілом по заданому закону зміни площі», в рамках якої було розроблено математичну модель побудови профілю центрального тіла сопла за заданими графіками площі і за зовнішнім контуром сопла Лавалю; алгоритм обчислення відповідних значень коефіцієнтів штрафних функцій для розв'язання оптимізаційних задач; математичну модель побудови профілю центрального тіла сопла Лавалю як задачу мінімізації квадратичної функції за наявності квадратичних обмежень для пошуку глобального екстремуму; комплекс програм для реалізації алгоритмів побудови профілю центрального тіла сопла Лавалю (рис. 4).

Для отримання більш якісних розрахунків щодо проектування сопла з центральним тілом передбачається вдосконалити математичну модель шляхом врахування параметрів зовнішнього контуру як невідомих оптимізаційної задачі. При цьому оптимізаційну задачу буде доповнено цільовою функцією, яка враховує газодинамічні властивості сопла.

Спільно з Харківським фізико-технічним інститутом проводяться роботи зі створення жаростійкого покриття для захисту вуглецевих матеріалів від впливу високотемпературного окиснювального середовища в інтервалі температур 1700–1800 °С. На сьогодні Інститут виконує пошук компонентів і складів шарів для жаростійкого покриття на вуглець-вуглецевих композиційних матеріалах.

Разом з Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» проводяться роботи, які дозволять знизити трудомісткість виготовлення деталей з алюмінієвих сплавів — моноколіс.

Процес деформування деталей з тонкостінними елементами відбувається в ізотерміч-

них умовах за температури 440°C внаслідок в'язкопластичної течії металу в часі. Перспективами розвитку процесу є виготовлення пресуванням в ізотермічних умовах деталей з титанових сплавів (моноколеса, відцентрові колеса, дифузори).

Однією з найважливіших характеристик сучасної авіаційної техніки є її живучість і, зокрема, зменшення помітності та імовірності ідентифікації літальних об'єктів. У результаті співробітництва з Інститутом фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України розроблено алгоритм перевідбиття ІЧ-випромінювання всередині двигуна з можливістю врахування неосесиметричних елементів, а також алгоритм для розрахунку поглинання і відбивання ІЧ-випромінювання газом всередині газотурбінного двигуна.

ДП «Івченко-Прогрес» планує продовжувати роботи з розроблення і впровадження у виробництво перспективних матеріалів. Найбільш необхідними для проектування новітніх авіаційних двигунів є такі матеріали:

- високоміцний, жароміцний нікелевий сплав для дисків турбіни (штамповки або заготовки, які отримують методом гранульної технології) з такими характеристиками:

$\sigma_B \geq 1550$  МПа при 20°C,  $\sigma_{100} \geq 1050$  МПа при 650°C, з температурою використання до 800°C;

- високоміцний нікелевий сплав для робочих лопаток турбіни (ливарний пруток) з такими характеристиками:  $\sigma_B \geq 1150-1220$  МПа при 20°C,  $\sigma_{100} \geq 350-380$  МПа при 975°C, з температурою використання до 1200°C;

- високоміцний титановий сплав для дисків компресора з робочою температурою до 550°C (штамповка для дисків компресора) з такими характеристиками:  $\sigma_B \geq 1270-1300$  МПа при 20°C,  $\sigma_{100} \geq 730$  МПа при 550°C, з температурою використання до 600°C;

- високоміцний алюміній для робочих лопаток вентилятора (деформована заготовка для лопаток вентилятора) з такими характеристиками:  $\sigma_B \geq 650$  МПа,  $\sigma_{0,2} \geq 580$  МПа,  $\delta > 8\%$  при 20°C, з температурою використання до 80°C.

Співробітництво з установами Національної академії наук України розвивається і розширюється з кожним роком. Запрошуємо науковців Академії до співпраці з нашим підприємством у нових проектах. Впевнений, що ми разом зможемо зміцнити і розширити позиції України на світовому ринку авіаційної техніки.

Дякую за увагу!