

В.М. ВОЄВОДИН

### СУЧАСНИЙ СТАТУС ЦИРКОНІЄВИХ МАТЕРІАЛІВ У ЯДЕРНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Наукове повідомлення на засіданні Президії НАН України  
16 травня 2012 року

---

Ядерна енергогенерація України була і залишається єдиною галуззю електроенергетики, яка в роки незалежності була спроможна продовжити поступальний розвиток, не зменшуючи обсягів виробництва, завершити будівництво трьох енергоблоків АЕС, ввести в дію Ташлицьку ГАЕС, побудувати сховище відпрацьованого ядерного палива, за належного рівня ядерної безпеки забезпечити промисловість і населення екологічно чистою електроенергією, удвічі дешевшою, ніж із традиційних джерел.

Нині головними завданнями ядерної енергогенерації є енергетична безпека (50% виробництва електроенергії) та зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Трагічний інцидент на АЕС «Фукусіма» в Японії не спричинив скасування національних програм з розвитку атомної енергетики в більшості країн світу, однак став причиною тимчасового призупинення ухвалення рішень з деяких перспективних майданчиків через перегляд вимог з безпеки АЕС і збільшення термінів ліцензування.

В Україні експлуатуються 4 атомні електростанції загальною встановленою потужністю 13835 МВт. Після введення в 2004 р. 2-го блоку на Хмельницькій АЕС та 4-го на Рівненській АЕС в Україні діють 15 атомних енергоблоків, у тому числі 13 реакторів ВВЕР-1000 і 2 – ВВЕР-440.

В оновленій енергетичній стратегії розвитку атомної генерації передбачається:

- подовження на 20 років терміну експлуатації наявних атомних енергоблоків загальною потужністю 11 ГВт;
- будівництво до 2016–2017 рр. третього і четвертого енергоблоків Хмельницької АЕС;
- будівництво нових енергоблоків сумарною встановленою потужністю 2–3 ГВт на нових майданчиках (базовий і максимальний сценарії). «Енергоатом» пропонує 8 ГВт для базового і 10 ГВт для максимального сценарію;
- 2023–2030 рр. – початок будівництва нових атомних блоків для заміщення блоків, які буде виведено з експлуатації після 2030 р.;
- у 2011 р. вироблено 189 млрд кВт/год, у 2030 р. планується виробити 272 млрд кВт/год (50% АЕС).

У найближчі 50–60 років реактори на теплових нейтронах домінуватимуть у парку ядерних енергоблоків, що виробляють електроенергію. Базовим матеріалом активних зон цих реакторів залишаться конструкційні матеріали на основі цирконію.

Завдяки оптимальному поєднанню ядерних (особливо так званої «нейтронної прозорості»), корозійних, механічних, теплових та інших фізико-хімічних характеристик сплави цирконію є безальтернативними конструкційними матеріалами для потреб атомної енергетики, зокрема для комплектування активних зон легководних реакторів з робочою температурою теплоносія до 350...400°C.

Забезпечення АЕС України ядерним паливом є одним із пріоритетних напрямів у сфері національної безпеки України в галузі енергетики. Зниження витрат на придбання ядерного палива за кордоном можливе лише в разі розвитку власного виробництва ядерного палива, зокрема створення циклу цирконієвого виробництва, заснованого на використанні національних сировинних ресурсів та організації виготовлення комплектувальних виробів для тепловидільних збірок (ТВЗ) і ядерного палива.

Україна має унікальні запаси цирконової сировини, посідаючи третє місце у світі. В Україні є виробничий і науковий потенціал, необхідний для вирішення проблеми забезпечення українських АЕС цирконієвими комплектувальними виробами для ТВЗ. Так, Вільногірський ГМК виробляє 30 тис. т цирконового концентрату за рік, у Дніпродзержинську є завод (Державне науково-виробниче підприємство (ДНВП) «Цирконій») з виробництва металічного цирконію.

У Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ) та інших наукових інститутах України впродовж тривалого часу проводяться матеріалознавчі й технологічні дослідження, спрямовані на обґрунтування створення виробництва з вітчизняної сировини цирконієвих сплавів і виробів на їх основі для ядерного палива, що використовують у реакторах ВВЕР.

В Інституті фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій (ІФТТМТ) ННЦ ХФТІ спільно з ДНВП «Цирконій», Фізико-технологічним інститутом металів та сплавів НАН України та Державним підприємством «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я.Ю. Осади» вперше в Україні розроблено технологію одержання зливків сплаву  $Zr1\%Nb$  і дослідно-промислової партії твельних труб із кальцієтермічного цирконію для реакторів ВВЕР. Труби відповідають усім технічним умовам України та Російської Федерації на труби-оболонки для твель.

У 2006 р. уряд України прийняв рішення про переоснащення наявних потужностей виробництва цирконію під хлоридно-магнієву технологію, яка нині є загальноприйнятою в світі, більш економічною і виключає застосування фтору у виробництві цирконію.

В ІФТТМТ ННЦ ХФТІ спільно з Інститутом титану та ДНВП «Цирконій» уперше в Україні досліджено процеси отримання експериментальних зразків губки магнієтермічного цирконію з вітчизняної сировини. В лабораторних умовах досліджено процеси виплавлення сплаву  $Zr1\%Nb$  на основі магнієтермічного цирконію. Вивчено поведінку домішок під час рафінування сплаву  $Zr1\%Nb$  методом електронно-променевого плавлення.

В ІФТТМТ з метою підвищення температури експлуатації й подовження ресурсу роботи твель відпрацьовано методи модифікації поверхні конструкційних матеріалів, зокрема іонно-плазмові, синтез покриттів, плазмохімічне і дифузійне активоване осадження. Ці методи вже добре себе зарекомендували.

В Інституті електрозварювання (ІЕЗ) ім. Є.О. Патона НАН України накопичено багатий досвід осадження покриттів. Інститут має можливість розробити технологічні основи високошвидкісного осадження захисних покриттів на поверхні цирконієвих трубок, що дасть змогу спільно з іншими інститутами НАН України дослідити їхні корозійні властивості й оцінити ефективність цього підходу для підвищення безпеки роботи АЕС.

Аналіз тенденцій розвитку цирконієвих сплавів для ядерної енергетики свідчить, що основними легуючими елементами є Sn, Nb, Fe. Невеликі добавки Cr, Cu, V можуть сприяти опору корозії і насиченню воднем; Sn, Fe, O та їх вміст у розчині з Zr забезпечують міцність і опір радіаційним повзучості і росту; збільшення ступеня холодної деформації (з 65 до 95%) посилює повзучість; підвищення ступеня рекристалізації зменшує повзучість; текстура визначає анізотропію

механічних властивостей, повзучості й орієнтацію гідридів; с-дислокації в мікроструктурі та їх збільшення підвищують швидкість радіаційного росту; інтерметалідні частинки (розміри і щільність) та зміна їх під дією нейтронного поля особливо важливі для корозії, повзучості і росту.

Встановлені закономірності є основними положеннями під час розроблення нових цирконієвих матеріалів.

Для забезпечення розвитку уранового і цирконієвого виробництва в Україні та створення потужностей для виробництва ядерного палива і його елементів 23 вересня 2009 р. затверджено Державну цільову економічну програму «Ядерне паливо України», якою передбачено створення виробництва цирконієвого прокату, складовими частинами якого є виробництва діоксиду цирконію, цирконієвої губки, цирконієвого сплаву і TREN-труби та науковий супровід цирконієвого виробництва з метою вдосконалення цих технологій.

На жаль, постановою № 37 Кабінету Міністрів України завод ДНВП «Цирконій» з січня 2011 р. позбавлено державного фінансування. Інститут титану, який має забезпечити магнітермічне відновлення хлориду цирконію до губки, не фінансується в належному обсязі. Завод прецизійних труб (основне прокатне виробництво) перебуває в стадії санації. Наукового супроводу цирконієвої програми з боку Міністерства енергетики та вугільної промисловості практично немає.

Якщо найближчим часом ситуація з цирконієвим виробництвом в Україні не змі-

ниться, то ми будемо повністю залежними від інших країн щодо постачання цирконієвих комплектувальних виробів для ядерного палива.

Сьогодні цирконієві сплави, застосовувані для виготовлення елементів активних зон ядерних легководних реакторів, не мають альтернативи.

Україні, з її унікальними запасами цирконієвих руд, виробничим і науково-технічним потенціалом, належить мати власний цикл цирконієвого виробництва, що ґрунтується на використанні національних сировинних ресурсів.

Інцидент на японській АЕС «Фукусіма» потребує підвищення безпеки й економічності цирконієвих сплавів за допомогою формування заданих структурних станів і модифікації поверхні.

Розв'язання проблеми безпеки та підвищення економічності ядерної енергетики вимагає пильної уваги академічних організацій до отримання в Україні цирконію ядерної чистоти, в тому числі сировинних, металургійних, технологічних, науково-організаційних та політичних аспектів.

Одним із реальних шляхів вирішення проблеми підвищення надійності, довговічності, фізико-хімічних характеристик цирконію та його сплавів для ядерної енергетики є створення і реалізація цільової комплексної програми робіт у цьому напрямі, відродження виробництва цирконію в Україні та створення в результаті єдиного циклу виробництва цирконієвих комплектувальних виробів з поліпшеними характеристиками.