

УДК 669.295:621.74.043

Євсєєва Н.О.

канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ РЕТОРТ МАГНІЙТЕРМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТИТАНУ

Сучасний промисловий спосіб магнійтермічного отримання титану в реакторах періодичної дії забезпечує виробництво металу у вигляді так званої «титанової губки». Отримані зливки титану повинні відповідати високим вимогам міжнародних стандартів щодо чистоти, механічних властивостей і структурної однорідності.

Водночас магнійтермічний метод має низку суттєвих недоліків: періодичність процесу, забруднення титанової губки, значні енергетичні витрати на розігрів реактора перед кожним циклом відновлення, деформацію (короблення) реакторів і, як наслідок, скорочення строку їх експлуатації. Усе це зумовлює необхідність дослідження процесів руйнування реторт і розробки підходів до підвищення їх довговічності.

Процес магнійтермічного відновлення титану базується на реакції відновлення тетрахлориду титану магнієм при підвищених температурах у герметичних ретортах (реакторах) (рис. 1). Процес включає наступні стадії: підготовка та завантаження реагентів; відновлення TiCl_4 магнієм з утворенням титанової губки та MgCl_2 ; вакуумна сепарація для видалення залишків магнію і хлориду магнію; охолодження та вивантаження продукту.

Через циклічний характер роботи реактори піддаються багаторазовим тепловим навантаженням, що призводить до накопичення пошкоджень матеріалу корпусу реторти. У таких умовах мають місце наступні механізми руйнування. Багаторазові цикли нагріву – охолодження спричиняють виникнення термічних напружень, що призводить до утворення мікротріщин і їх поступового розвитку. За тривалої дії високих температур відбувається повзуча деформація, яка викликає короблення та зміну геометрії реторти. Контакт із магнієм та його сполуками спричиняє хімічну взаємодію з матеріалом корпусу, що знижує його міцність і сприяє розвитку дефектів. Останніми роками значно зріс інтерес до створення нових прогресивних матеріалів для виготовлення корпусів апаратів відновлення та сепарації. Підвищення строку служби реторт значною мірою залежить від жароміцності матеріалу; стійкості до повзучості; корозійної стійкості в середовищі магнію та його солей; коефіцієнта теплового розширення; термостійкості та опору термічній втомі.

Основними причинами руйнування реторт є: високі температури процесу ($800\ldots 1000^\circ\text{C}$ і вище); значні температурні градієнти; агресивне хімічне середовище (Mg , MgCl_2 , TiCl_4); механічні навантаження під час нагріву й охолодження.

Перспективними є жароміцні сплави на основі нікелю, молібдену, а також спеціальні сталі з підвищеним вмістом легувальних елементів. Додатково застосовуються захисні покриття, що зменшують хімічну взаємодію з агресивним середовищем.

Моделювання є ефективним інструментом прогнозування ресурсу реторт та оптимізації їх конструкції.



Рисунок 1 – Реторти (реактори) магнійтермічного виробництва титану

Основні напрямки моделювання включають:

- розрахунок температурних полів у корпусі реторти дозволяє визначити зони максимальних температурних градієнтів і потенційного зародження тріщин;

– метод скінченних елементів використовується для аналізу напружено-деформованого стану конструкції з урахуванням температурних навантажень;

– розробка моделей довготривалої деформації дає змогу оцінити накопичення залишкових деформацій протягом циклів експлуатації;

– поєднання механічних і хімічних факторів у комплексних моделях дозволяє прогнозувати швидкість деградації матеріалу.

Комплексне використання цих підходів дає можливість не лише оцінити строк служби реторти, але й оптимізувати її геометрію, вибір матеріалу та режим експлуатації. Магнійтермічне виробництво титану є основним промисловим методом отримання титанової губки, проте воно супроводжується значними експлуатаційними навантаженнями на реторти. Руйнування реакторів обумовлене поєднанням термічної втоми, повзучості, корозійних процесів та структурної деградації матеріалу.

Підвищення довговічності реторт можливе за рахунок застосування нових жароміцних матеріалів, захисних покриттів та впровадження сучасних методів математичного моделювання процесів руйнування. Це дозволяє зменшити витрати на експлуатацію, підвищити енергоефективність виробництва та забезпечити стабільну якість титанової продукції.