

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МІКРОПЛАВОК В ІНДУКЦІЙНІЙ ПЕЧІ**

Мікрометалургійні плавки мають свої особливості та потребують додаткових досліджень для визначення оптимальних параметрів роботи печі. Через складність таких досліджень на реальних об'єктах та необхідність проведення великої кількості експериментів, доцільно використовувати попередні дослідження з допомогою віртуальних комп'ютерних моделей металургійних печей, що створюються на базі САЕ-системи. Тому комп'ютерне моделювання індукційної печі є актуальною задачею для дослідження металургійних процесів.

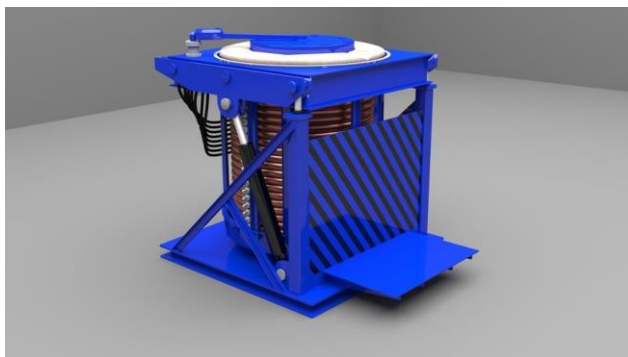


Рисунок 1 – Тривимірна модель вакуумної індукційної печі для мікроплавки

Метою роботи є розробка віртуальної моделі вакуумної індукційної плавильної печі для мікрометалургійних досліджень.

Під процесом мікрометалургії розуміють плавку невеликих об'ємів металу з вагою від 80 до 300 грам для отримання зразків для досліджень. Для проведення мікрометалургійних досліджень створено вакуумну індукційну піч, яка має досить невеликі розміри – робоча камера 220x220x280 мм, індуктор - діаметр 100 мм та висота 130 мм. В камері є можливість створити глибину вакууму 15 мікрон. Споживана потужність індуктора становить 1500 Вт. Тривимірну модель печі наведено на рис. 1.

Для проведення розрахунків було створено спрощену геометричну модель індуктор-тигель, яка містить в собі лише керамічний тигель та мідний

індуктор (рис. 2), де 1 – тигель, 2 – мідний індуктор. На цій моделі проводиться розрахунок часу переходу стопів з твердої у рідку фазу. Для цього задаються параметри потужності та частоти індуктора. Розроблена віртуальна модель не враховує глибину вакууму робочого середовища печі, теплопередачі від індуктора до кожуха печі. Однак, таке спрощення значно не вплине на реальний час проведення плавки.



Рис. 2 – Тривимірний модель індуктор-тигель для проведення розрахунку режиму плавлення

Для проведення попередніх розрахунків режимів нагрівання використовувалась САЕ-система COMSOL Multiphysics [1].

Для дослідження процесу плавки враховуються параметри: атмосфера середовища (тиск граничного вакууму, або інше середовище), частота та напруга індуктора, потужність конденсаторної батареї, контроль температури середовища, тигля, охолоджуючої рідини індуктора. Контроль та керування цими параметрами дозволить більш точно розрахувати режим роботи обладнання. В умовах проведення сучасних досліджень нових сплавів печі повинні відповідати параметрам високої ефективності, надійності та гнучкості своїх процесів. Оскільки індукційній печі необхідна велика потужність для досягнення температури, необхідної для нагріву та плавлення, низка досліджень направлена на енергоефективність та точність розрахунку спожитої електричної енергії. Енергетична оптимізація передбачає покращення економічних показників, екологічності та як наслідок зменшення витрат на розробку та дослідження нових сплавів [2].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Vincent Bruyere «Tips and Tricks for Modeling Induction Furnaces» COMSOL Blog, 4 march 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.comsol.eu/blogs/tips-and-tricks-for-modeling-induction-furnaces/?setlang=1>

2. Antolin-Urbaneja, Juan & González, Asier & Lopez-Guede, Jose & Ipiña, J. (2018). Digital industrial furnaces: Challenges for energy efficiency under VULKANO project. *Journal of Energy Systems*. 204-217. 10.30521/jes.474499.