

УДК 621.365.32

Мордзинський Р.Б.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

² д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ШИННИХ ПАКЕТАХ ЕЛЕКТРОПЕЧЕЙ ОПОРУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КАРБІДУ КРЕМНІЮ

Технологічний процес виробництва карбіду кремнію характеризується високою енергоемністю (до 5...12 МВт·год на тонну продукції). Потужність електропечей опору для виробництва карбіду кремнію досягає 4...5 МВт а тривалість технологічної кампанії досягає 40 годин. Це обумовлює потребу у пошуку нових шляхів підвищення енергоефективності та відсотку якості продукції для її конкурентоспроможності на світових ринках.

Втрати активної потужності у короткій мережі електропечі опору можуть сягати 10...12% від повної активної потужності комплексу. Це обумовлює актуальність задачі раціонального конструювання шинних пакетів нових або модернізованих електропечей опору для виробництва

карбіду кремнію великої потужності, які забезпечують підвищення енергоефективності технологічного процесу.

Як правило, при проектуванні коротких мереж електропечей змінного струму застосовуються методи теорії електричних кіл і середніх геометричних відстаней, які базуються на цілому ряді припущень і спрощень, що не дає змогу врахувати реальну картину електромагнітних полів. Це не дозволяє достовірно враховувати особливості електромагнітного взаємодії струмоведучих елементів пічної петлі, струмопідводу і керну печі, призводить до збільшення похибок при розрахунку опорів, розподілі струмів, електричних втрат в шинних пакетах, і, як наслідок, температурних режимів їх роботи. Розвиток методики короткої мережі електропечі опору для виробництва карбіду кремнію повинен базуватись на аналізі просторових взаємопов'язаних електричних та магнітних полів в області пічної петлі на основі методів математичного моделювання і універсальних пакетів програм розрахунку.

Метою роботи була розробка універсальної методики енергоефективного вибору геометричних параметрів шинних пакетів електропечей опору змінного струму для виробництва карбіду кремнію на основі чисельного - польового аналізу електромагнітних і електротеплових моделей, що враховують температурні залежності електрофізичних і теплофізичних властивостей шин і струмопроводів та відображають особливості конструкції і просторового розташування елементів пічної петлі відносно один одного.

Для реалізації поставленої мети розглядалась розрахункова область короткої мережі печі наведена на рис. 1.

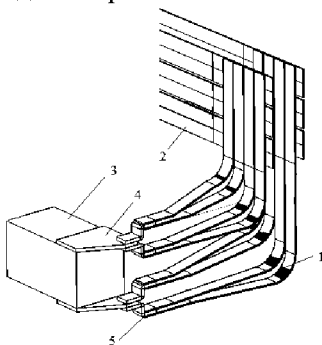


Рисунок 1 – Розрахункова область.

Мідні шини торцевих шинних пакетів 1, що під'єднані до алюмінієвих шин бічного шинного пакету 2, кріпляться до сталевих шин 5, які приварені

до сталевих плит, що забезпечують електричний контакт з графітовим струмопідводом 3.

Процеси перетворення електричної енергії змінного струму в енергію електромагнітного поля і теплову в розрахунковій області описувались математичною моделлю, що наведена у [1].

За результатами моделювання визначались активні втрати в елементах короткої мережі і їх активний та реактивний опори.

Локалізація енергії магнітного поля проходить навколо шин торцевого пакету, струмопідводу і крайніх шин бічного пакету та визначає локалізацію питомих електричних втрат на ділянках короткої мережі.

Ці особливості магнітного поля зумовлюють нерівномірний розподіл електричних потенціалів і перерозподіл струмів в шинах пакету, які витісняються з внутрішніх шин. Це призводить до нерівномірного розподілу щільності струму і питомих електричних втрат в шинах. Сила струму в крайніх шинах торцевого пакету в 1,4 рази більше ніж в внутрішніх шинах, хоча зсув їх по фазі не перевищує 4,5 ел. град. Електричні втрати в зовнішніх шинах 2 рази перевищують відповідні втрати в внутрішніх шинах. Ці фактори повинні враховуватися при виборі енергоефективного конструктивного виконання торцевого пакету і розмірів його шин.

Розглядаються рівнонавантажені варіанти, які відповідають критеріям рівності щільності струму і питомої потужності тепловиділення в шинах ТШП

$$\{J_{ш,i} = J_{ек} ; P_{ш,i} = P_{доп}, \quad (1)$$

де $J_{ек}$ – економічна щільність струму, $P_{доп}$ – гранично допустимі за умовами нагріву питомі втрати.

Ці критерії реалізуються за даними математичного моделювання за допомогою виразів:

$$\left\{ S_{ш,i} \Big|_{J_{ек}} = \left| I_{ш,i} \right| / J_{ек} ; S_{ш,i} \Big|_{P_{доп}} = P_{ш,i} / P_{доп} \cdot l_{ш,i} ; i = 1, \dots, N_{шп}, \quad (2)$$

де $l_{ш,i}$ – довжина i -ї шини торцевого пакету.

Певні з цих співвідношень перетину шин можуть розглядатися як початкові наближення для вектору геометричних конструктивних параметрів. Диференціація розмірів шин ТШП здійснюється при допустимій точності ітерацій.

Результати моделювання та дані ітераційних розрахунків підтверджують можливість зниження маси провідникових матеріалів на

9...12% і втрат в на 7...15% в порівнянні з базовим варіантом.

Таким чином, сформульовано просторові моделі, що відображають особливості електромагнітних та електротеплових процесів в торцях печей змінного струму, конструктивного виконання елементів короткої мережі, що враховують температурні залежності електрофізичних і теплофізичних властивостей шин і струмовідводу.

Розроблено методику ідентифікації електричних параметрів елементів короткої мережі електропечі опору змінного струму на основі даних чисельно-польового аналізу, реалізованого методом скінченних елементів в тривимірній області торця печі.

Реалізація критеріїв рівної завантаженості шин за щільністю струму і питомими електричними втратами для вибору конструктивних параметрів шин торцевого пакету дозволяє знизити його масу на 9...12%, активні втрати на 7...15% щодо базового конструктивного виконання, поліпшити показники енергоефективності технологічного процесу виробництва карбіду кремнію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ярымбаш, Д. С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – №1. – С. 64–69.