

УДК 621.365.5

Яримбаш Д.С.¹, Тютюнник П.О.²

¹ д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ ІНДУКТОРІВ МУНДШТУКА ПОТУЖНОГО ПРЕСУ

На вуглеграфітовому виробництві для виготовлення заготовок вугільно-графітових блоків і графітових виробів використовуються потужні преси з мундштуками, обладнаними індукторами нагріву. При проведенні через мундштук пресу відбувається ущільнення і формоутворення вугільно-графітова маси у заготовки. Від якості цих процесів залежить рівень втрат сировини в процесів виробництва та якість кінцевої продукції.

Забезпечення стабільності температурних режимів на робочих поверхнях мундштуків є основним критерієм якості для формування структури вугільно-графітових заготовок. Пресування заготовок блоків здійснюється із зусиллям до 63000 кН, через це мундштуки виготовляють дуже масивними. Для дотримання температурних режимів пресування мундштуки пресу обладнують пристроями індукційного нагріву – індукторами, які живляться від джерел змінного струму промислової частоти. Як правило, встановлюють два індуктори нагріву: один – на «заході» вугільно-графітової або графітової маси у мундштук, а другий – над «калібром» мундштука перед виходом заготовки. Масивні індуктори «заходу» і «калібру» мають велику потужність та складну конструктивну будову і разом із джерелами живлення змінним струмом промислової частоти та автоматизованою системою регулювання тем-

пературних режимів нагріву робочих поверхонь мундштука являють собою електротехнічний комплекс індукційного нагрівання. Основним критерієм роботи цього комплексу є забезпеченні високої точності технологічних температурних режимів під час процесу пресування заготовок. Зважаючи на складність конструкції, багатокомпонентність елементів, нелінійність фізичних процесів, пов'язаних з перетворенням електричної енергії в тепло, а також механічних і електрофізичних властивостей матеріалів, проектування таких систем стає складною, але дуже важливою науково-практичною задачею. Відомі інженерні методи та методики проектування мають свої обмеження щодо можливості створення нових конструктивних рішень і модернізації існуючих конструкцій.

Розвиток комп'ютерної техніки, математичних методів та програмного забезпечення відкриває нові можливості для розробки підходів до створення нових конструкцій за допомогою математичного моделювання електротеплових процесів в системі «індуктори - мундштук». Однак, для успішної реалізації цих можливостей необхідно розробити тривимірну математичну модель, яка дозволить визначати конструктивні параметри та і відтворити робочі режими з необхідною для виробництва точністю.

Метою роботи була розробка тривимірної електромагнітної моделі, яка відображає складну багатокомпонентну конструктивну будову індукторів, нелінійність фізичних властивостей його складових та її реалізація на основі методу скінчених елементів.

Геометрична модель мундштука пресу із встановленими індукторами створюється у середовищі Comsol Multiphysics. Виділяються групи конструктивних елементів, що мають однакові механічні, електрофізичні та теплофізичні властивості і характеристики. В середовищі Comsol Multiphysics створюється модель електромагнітних процесів, задаються значення параметрів і коефіцієнтів та функціональні описи залежностей електромагнітних властивостей. На поверхнях сполучення конструктивних елементів обирають умови спряження з урахуванням питомих значень теплових і електричних опорів. Для опису гістерезисних характеристики намагнічування масивних сталевих осердь індуктора використовується модель Джайлса-Атертона.

Процесам електромагнітного перетворення електричної енергії в індукторах мундштука преса відповідає система диференційна рівнянь Максвела у формулюваннях для електричного і векторного магнітного потенціалів яка доповнюється граничними умовами та умовами спряження. Реалізація моделі була здійснена методом скінчених елементів.

Застосування тривимірної математичної моделі дозволило визначити та проаналізувати крайові ефекти у лобових частинах обмоток та прилеглих до них частинах масивних індукторів. За результатами мо-

делювання було визначено, що для традиційної конструктивної схема розташування індукторів на зовнішній поверхні мундштука пресу характерна висока інтенсивність теплопередачі в оточуюче середовище. Було визначено, у лобових частинах індукторів теплова потужність на 12...18% більша ніж у центральній частині за рахунок крайових ефектів в індукторі при роботі на промисловій частоті. Внаслідок теплових втрат ефективність індукторів не дозволяє підвищити якість підтримання технологічного температурного рівня робочих поверхонь мундштука пресу на кінцевому етапі циклу пресування заготовок.

Це потребує проведення подальших досліджень з пошуку нового більш ефективного конструктивного виконання індукторів та визначення місць їх розташування для підвищення ефективності системи індукційного нагрівання. Такі дослідження доцільно буде проводити з використанням запропонованої тривимірної математичної моделі, що реалізується методом скінченних елементів і дозволяє враховувати складну багатокомпонентну конструктивну будову індукторів, нелінійність фізичних властивостей його складових.