

УДК 621.365.5

Яримбаш Д.С.¹, Яримбаш С.Т.², Літвінов Д.О.³

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

² канд. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

³ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ЕЛЕКТРОТЕПЛОВА МОДЕЛЬ МУНДШТУКА ПОТУЖНОГО ПРЕСУ З ІНДУКТОРАМИ НАГРІВУ

Мундштуки потужних пресів на вуглеграфітовому виробництві застосовуються для виготовлення заготовок вугільно-графітових і графітових виробів. Завдяки мундштукам здійснюється формоутворення і ущільнення таких заготовок, що, насамперед, визначає можливість отримання якісної продукції та зменшення втрат сировини в процесі виробництва [1].

Для формування структури заготовок необхідно забезпечувати стабільні температурні режими на робочих поверхнях мундштуків. Внаслідок великих зусиль, що потрібні для пресування, мундштуки виготовляють масивними. Їх також обладнують пристроями індукційного нагріву - індукторами, які живляться від джерел змінного струму промислової частоти. На масивних мундштуках встановлюють два індуктори нагріву: один - на «заході» вугільно-графітової або графітової маси у мундштук, а другий - над «калібром» мундштука перед виходом заготовки. Сукупність із джерелами живлення індукторів змінним струмом, масивними індукторами великої потужності та складної конструктивної будови, автоматичної системи регулювання температурних режимів нагріву робочих поверхонь пресу необхідність розглядати як електротехнічний комплекс. Основним завданням даного комплексу є забезпечення з великою точністю технологічних температурних режимів на протязі технологічного циклу пресування заготовки від завантаження одного чи декількох масних циліндрів. З урахуванням багатокомпонентності конструктивних елементів, складності фізичних процесів перетворення електричної енергії в теплову, нелінійності механічних і електрофізичних властивостей матеріалів проектування таких систем стає складною, але вельми актуальною задачею в практичному і науковому плані. Застосування існуючих інженерних методик проектування [1] має обмеження щодо можливості створення нових конструктивних рішень, так і модернізації існуючих конструкцій.

Розвиток обчислювальної техніки, математичних методів і програмного забезпечення створили нові можливості для розвитку підходів до створення нових конструкцій засобами математичного моделювання [2]. Проте для реалізації таких можливостей необхідно розробити таку математичну модель, яка дозволить визначити конструктивні параметри і відтворити робочі режими з необхідною для виробництва точністю.

Мета роботи полягає у створенні спряженої електро-теплової моделі, яка відображає складну багатокомпонентну конструктивну будову мундштука пресу, нелінійність фізичних властивостей його складових на основі математичного описання електричних і електромагнітних процесів перетворення електричної енергії змінного струму у теплову енергію, а також процесів теплопередачі від осердя індукторів до пресованої маси.

Геометрична модель мундштука пресу із встановленими індукторами створюється засобами SolidWorks [3] та імпортується у середовище Comsol Multiphysics [4]. Необхідно виділити групи конструктивних елементів, що мають однакові механічні, електрофізичні та теплофізичні властивості і характеристики. Засобами інтерфейсу Comsol Multiphysics задаються значення фізичних параметрів і коефіцієнтів або функціональні описи для відповідних залежностей [5]. На поверхнях сполучення конструктивних

елементів обирають умови спраження з урахуванням питомих значень теплових і електричних опорів. Гістерезисні характеристики намагнічування масивних сталевих осердь індуктора апроксимовані моделлю Джайлса-Атертона [6].

Процесам електромагнітного перетворення електричної енергії в індукторах мундштука преса відповідає система диференційна рівнянь Максвелла у частотних формулюваннях для електричного і векторного магнітного потенціалів. Модель теплопередачі у мундштуку преса базується на рівняннях Фур'є з конвективною складовою для пресованої маси і без неї для мундштука преса з індукторами. Система рівнянь доповнюється граничними умовами та умовами спраження. Реалізація моделі була здійснена методом скінчених елементів засобами Comsol Multiphysics [4].

Застосування рівнянь Максвелла у частотній формі дозволило істотно скоротити час розрахунків і зменшити вимоги до апаратних ресурсів обчислювальної техніки. Аналіз розрахункових даних дозволив визначити, що традиційна конструктивна схема розташування індукторів на зовнішній поверхні мундштука пресу призводить до істотного збільшення інтенсивності теплопередачі в оточуюче середовище. Внаслідок теплових втрат потужність індукторів стає недостатньою для підтримання технологічного температурного рівня робочих поверхонь мундштука пресу на кінцевому етапі циклу пресування заготовок.

Для усунення недоліків конструкції, визначених за даними польового моделювання, розроблена нова конструктивна схема для мундштука пресу з індукторами. Було запропоновано замість кожного індуктора на «заході» або «калібрі» мундштука пресу монтувати по чотири секційні індуктори з масивними осердями із фрезерованими пазами обмоток. Характерна конструктивна особливість таких секційних індукторів полягає у тому, що зворотна від обмотки поверхня осердя індуктора є внутрішньою робочою поверхнею мундштука преса. Отже замість нагріву масивного сталевго мундштука обігривається лише його внутрішня «броня», яка утворена осердями чотирьох секцій індуктора.

Засобами моделювання для мундшуків пресу з модернізованими секційними індукторами доводиться, що масу індуктора можна зменшити майже у 8,3 рази, електричну потужність – у 6,5 раз, а у 5,1 рази – втрати електричної енергії на цикл пресування. Крім того діапазон відхилень температур робочої поверхні мундштука не перевищуватиме $\pm 0,8\%$, що буде повністю задовольняти технологічним обмеженням для температурних режимів пресування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Немков В.С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В.С. Немков, В.Б. Демидович. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
2. Yarymbash, D. An Application of Scheme and Field Models for Simulation of Electromagnetic Processes of Power Transformers. [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk // 14th International Conference: Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), February 20-24, Lviv–Slavske, Ukraine. – 2018. - pp. 308–313. doi: 10.1109/TCSET.2018.8336209
3. Student's Guide to Learning SolidWorks® Software: https://www.solidworks.com/sw/docs/student_wb_2011_eng.pdf
4. The COMSOL® Software Product Suite: <https://www.comsol.com/products>
5. Дівчук Т.Є. Уточнюючий підхід до визначення функціональних залежностей відносних магнітних проникностей анізотропних холоднокатаних електротехнічних сталей / Т. Є. Дівчук, Д. С. Яримбаш, С. Т. Яримбаш, І. М. Килимник, М. І. Коцур, Ю. С. Безверхня // Електротехніка та електроенергетика. - 2018. - № 2. - С. 6-15. DOI 10.15588/1607-6761-2018-2-1
6. Yarymbash D. An Accuracy Enhancement of Parameters Calculation Of The Jiles-Atherton Model [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Yarymbash and I. Kylymnyk 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). – 2020. - pp. 1-6, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240843.