УДК 621.365.51

DOI: https://doi.org/10.15407/ techned2017.04.055

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ДЛИТЕЛЬНО ПРОТЕКАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНДУКЦИОННОЙ КАНАЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕДНОЙ КАТАНКИ

Журнал	Технічна електродинаміка
Издатель	Институт электродинамики Национальной академии наук Украины
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Выпуск	№ 4, 2017 (июль/август)
Страницы	55 – 64

Авторы
А.А. Щерба[1]*, чл.-корр. НАН Украины, **А.Д. Подольцев**[1], докт.техн.наук, **И.Н. Кучерявая**[1], докт.техн.наук,
В.М. Золотарев[2], докт.техн.наук,
Р.В. Белянин[2]

[1] – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина,
e-mail: podol@ied.org.ua
[2] – ПАТ "Завод "Южкабель",
ул. Автогенная, 7, Харьков, 61099, Украина
* ORCID ID : http://orcid.org/0000-0002-0200-369X

Проведено мультифизическое моделирование длительно протекающих (десятки часов), разномасштабных по времени электромагнитных и тепловых переходных процессов в индукционной канальной печи, используемой в технологии получения медной катанки. В основу реализации моделирования положены связанные между собой нелинейные электрическая и тепловая эквивалентные цепи, учитывающие такие факторы, как зависимость электропроводности и теплоемкости нагреваемого медного шаблона от температуры, наличие фазового перехода при его нагреве до температуры выше температуры плавления, периодическая загрузка холодных медных катодов в зону расплава и непрерывное литье медных заготовок. Показано, что протекающие при этом динамические процессы тепло- и массопереноса могут моделироваться эквивалентной тепловой цепью с нелинейными и коммутируемыми емкостями. Компьютерная реализация метода выполняется в программе Matlab/Simulink/SPS. Для снижения затрат компьютерного времени предложен и реализован подход искусственного уменьшения частоты источника электропитания с одновременным пропорциональным увеличением всех индуктивностей в эквивалентной электрической цепи. Приведенные результаты тепловых расчетов позволяют выбирать рациональные технологические режимы и параметры установки. Библ. 12, рис. 7.

Ключевые слова: индукционная канальная печь, электромагнитные процессы, тепловые процессы, фазовый переход при плавлении заготовки, мультифизическая цепь, компьютерное моделирование.

Поступила 14.03.2017
Окончательный вариант 04.05.2017
Подписано в печать 15.06.2017

УДК 621.365.51

МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ТРИВАЛИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ІНДУКЦІЙНІЙ КАНАЛЬНІЙ ПЕЧІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МІДНОЇ КАТАНКИ

Журнал	Технічна електродинаміка
Видавник	Інститут електродинаміки Національної академії наук України
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Випуск	№ 4, 2017 (липень/серпень)
Сторінки	55 – 64

Автори

А.А. Щерба[1], чл.-кор. НАН України, **О.Д. Подольцев**[1], докт.техн.наук, **І.Н. Кучерява**[1], докт.техн.наук,
В.М. Золотарьов
[2]
, докт.техн.наук,
Р.В. Білянін
[2]

[1] – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,
e-mail: podol@ied.org.ua
[2] – ПАТ "Завод"Південкабель",
вул. Автогенна, 7, Харків, 61099, Україна

Проведено мультифізичне моделювання тривалого перебігу (десятки годин) різномасштабних за часом електромагнітних та теплових перехідних процесів в індукційній канальній печі, яка використовується в технології виготовлення мідної катанки. В основу реалізації моделювання покладено позв'язані між собою нелінійні електричне та теплове еквівалентні кола, в яких враховуються такі фактори, як залежність від температури електропровідності і теплоємності мідного шаблона, наявність фазового переходу при його нагріванні до температури вище температури плавлення, періодичне завантаження холодних мідних катодів у зону розплаву та безперервне лиття мідних заготовок. Показано, що динамічні процеси тепло- і масопереносу можуть моделюватися еквівалентним тепловим колом з нелінійними та комутуючими ємностями. Комп'ютерна реалізація методу виконується в програмі Matlab/ Simulink/SPS. Для зниження витрат

комп'ютерного часу запропоновано метод штучного зменшення частоти джерела електроживлення з одночасним пропорційним збільшенням усіх індуктивностей в еквівалентному електричному колі. Наведені результати теплових розрахунків дозволяють вибирати раціональні технологічні режими та параметри установки. Бібл. 12, рис. 7.

Ключові слова: індукційна канальна піч, електромагнітні процеси, теплові процеси, фазовий перехід при плавленні заготовки, мультифізичне коло, комп'ютерне моделювання.

Надійшла 14.03.2017
Остаточний варіант 04.05.2017
Підписано до друку 15.06.2017

Література

1. *Вайнберг А.М.* Индукционные плавильные печи. – М.: Энергия, 1967. – 416 с.
2. *Золотарев В.М., Белянин Р.В., Подольцев А.Д.* Анализ электромагнитных процессов в индукционной канальной печи, используемой в кабельной промышленности // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2016. – Вип. 44. – С. 110-115.
3. *Золотарев В.М., Щерба М.А., Золотарев В.В., Белянин Р.В.* Трехмерное моделирование электромагнитных и тепловых процессов индукционной плавки медного шаблона с учетом конструкции элементов установки. // Техн. електродинаміка. – 2017. – № 3. – С. 13–21.
4. *Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н.* Мультифизическое моделирование в электротехнике. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2015. – 305 с.
5. *Самарский А.А., Моисеенко В.Д.* Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журн. выч. математики и мат. физики. – 1965. – Т. 5. – № 5. – С. 816–827.
6. *Сипайлов Г.А.* Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в

электрических машинах. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.
7. *Столович Н.Н., Миницкая Н.С.* Температурные зависимости теплофизических свойств некоторых металлов. – Минск: Наука и техника, 1975. – 160 с.
8. *Фомин Н.И., Затуловский Л.М.* Электрические печи и установки индукционного нагрева. – М.: Металлургия, 1979. – 247 с.
9. *Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Ушаков В.И.* Компьютерное моделирование электротепловых процессов и термомеханических напряжений при индукционном нагреве движущихся медных слитков. // Техн. електродинаміка. – 2013. – № 2. – С. 10–18.
10. Comsol Multiphysics. – www.comsol.com.
11. *Rantanen M.* The "UPCAST" method of producing copper wire // Wire industry. – 1976. – No 511. – Pp. 565–567.
12. UPCAST Products: официальный сайт компании UPCAST. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.upcast.com/rus/upcast-products.html

PDF