

DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2017.03.013>

УДК 621.365.5

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ МЕДНОГО ШАБЛОНА С УЧЕТОМ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВКИ

Журнал	Технічна електродинаміка
Издатель	Институт электродинамики Национальной академии наук Украины
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Выпуск	№ 3, 2017 (май/июнь)
Страницы	13 – 21

Авторы

В.М. Золотарёв², докт.техн.наук, **М.А. Щерба**¹, канд.техн.наук, **В.В. Золотарёв**², канд.техн.наук,

Р.В. Беянин

²

¹ – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина,
e-mail: m.shcherba@gmail.com

² – ПАО "Завод "Южкабель",
ул. Автогенная, 7, Харьков, 61099, Украина,
e-mail: zavod@yuzhcable.com.ua

Разработана трехмерная математическая модель и выполнен анализ неоднородного распределения магнитного и температурного полей в футерованном индукторе плавно-раздаточной печи для плавки меди и в медном шаблоне. Анализ проводился с

учетом сложной геометрии индуктора (характерные размеры элементов которого существенно отличаются), нелинейной зависимости удельной электропроводности меди от температуры, ферромагнитных свойств стального сердечника магнитопровода и наличия водного охлаждения медных шин индуктора и его корпуса, а также температуры и массопереноса жидкости. Рассмотрен долговременный процесс плавления медного шаблона длительностью 18 часов при нестационарном питании индуктора. Определены локальные области наибольших температур и градиентов температуры в футеровке индуктора и их изменение во времени для анализа надежности и ресурса плавно-раздаточной печи. Библ. 18, рис. 7.

Ключевые слова: индукционный нагрев, связанные электромагнитные и тепловые процессы, трехмерное математическое моделирование, нелинейные свойства.

Поступила	05.04.2017
Окончательный вариант	17.04.2017
Подписано в печать	15.05.2017

УДК 621.365.5

ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЛАВКИ МІДНОГО ШАБЛОНУ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ УСТАНОВКИ

Журнал	Технічна електродинаміка
Видавець	Інститут електродинаміки Національної академії наук України
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Випуск	№ 3, 2017 (травень/червень)
Сторінки	13 – 21

Автори

В.М. Золотарьов², докт.техн.наук, **М.А. Щерба¹**, канд.техн.наук, **В.В. Золотарьов²**, канд.техн.наук,

Р.В. Білянін

²

¹ – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,
e-mail: m.shcherba@gmail.com

² – ПАТ "Завод "Южкабель",
вул. Автогенна, 7, Харків, 61099, Україна,
e-mail: zavod@yuzhcable.com.ua

Розроблено тривимірну математичну модель і виконано аналіз неоднорідного розподілу магнітного і температурного полів у футерованому індукторі плавильно-роздавальної печі для плавки міді та мідному шаблоні. Аналіз проводився з урахуванням складної геометрії індуктора (характерні розміри елементів якого істотно відрізняються), нелінійної залежності питомої електропровідності міді від температури; феромагнітних властивостей сталевого осердя магнітопроводу та наявності водного охолодження котушок і корпусу індуктора, враховуючи температуру і масоперенос рідини. Розглянуто довготривалий процес плавлення мідного шаблону тривалістю 18 годин при нестаціонарному живленні індуктора. Визначено локальні області максимальних температур і градієнтів температури в футеровці індуктора та їхню зміну в часі для аналізу надійності і ресурсу плавильно-роздавальної печі. Бібл. 18, рис. 7.

Ключові слова: індукційний нагрів, взаємопов'язані електромагнітні та теплові процеси, нелінійні властивості, тривимірне математичне моделювання.

Надійшла	05.04.2017
Остаточний варіант	17.04.2017
Підписано до друку	15.05.2017

Література

1. Золотарев В.М., Беянин Р.В., Подольцев А.Д. Анализ электромагнитных процессов в индукционной канальной печи, используемой в кабельной промышленности // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2016. – Вип. 44. – С. 110–115.
2. 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.
3. Щерба М.А. Закономерности распределения электрического поля в диэлектрической среде при изменении размеров и формы проводящих включений // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 19–20.
4. Щерба М.А. Особенности локальных усилений электрического поля проводящими включениями в нелинейной полимерной изоляции // Техн. електродинаміка. – 2015. – № 2. – С. 16–23.
5. Щерба М.А., Подольцев А.Д. Распределение электрического поля и плотности тока возле водных включений полимерной изоляции высоковольтных кабелей с учетом ее нелинейных свойств // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 1. – С. 11–19.
6. Baake E., Nacke B., Bernier F., Vogt M. Experimental and numerical investigations of the temperature field and melt flow in the induction furnace with cold crucible // Intern. J. for computation and mathematics in electrical and electronic engineering COMPEL. – 2003. – Vol. 22(1). – Pp. 88–97.
7. Bay F., Labbé V., Favennec Y. A numerical model for induction heating processes coupling electro-magnetism and thermomechanics // Intern. J. for Numerical Methods in Engineering. – 2003. – Vol. 58(6). – Pp. 839–867.
8. Bermúdez A., Gómez D., Muñoz M.C., Salgado P., Vázquez R. Numerical simulation of a thermo-electromagneto-hydrodynamic problem in an induction heating furnace // Applied Numerical Mathematics. – 2009. – Vol. 59(9). – Pp. 2082–2104.
9. Bermúdez A., Gómez D., Muñoz M.C., Salgado P. Transient numerical simulation of a thermoelectrical problem in cylindrical induction heating furnaces // Advances in computational mathematics. – 2007. – Vol. 26(1-3). – Pp. 39–62.
10. Chaboudez C., Clain S., Glardon R., Mari D. Numerical modeling in induction heating for axisymmetric geometries // IEEE Trans. on Magnetism. – 1997. – Vol. 33(1). – Pp. 739–745.

11. Comsol Multiphysics, <https://www.comsol.com/> , Comsol Inc., Burlington, MA, USA, 2017.
12. *Ghojel J.I., Ibrahim R.N.* Computer simulation of the thermal regime of double-loop channel induction furnaces // J. of materials processing technology. – 2004. – Vol. 153. – Pp. 386–391.
13. *Lucía O., Maussion P., Dede E.J.* Induction heating technology and its applications: past developments, current technology, and future challenges // IEEE Trans. on Industrial Electronics. – 2014. – Vol. 61.5. – Pp. 2509–2520.
14. *Rapoport E., Pleshivtseva Yu.* Optimal control of induction heating processes. – CRC Press, 2006.
15. *Rudnev V., Loveless D., Cook R.L., Black M.* Handbook of induction heating. – CRC Press, 2002.
16. *Ter Maten E.J.W., Melissen J.B.M.* Simulation of inductive heating // IEEE Trans. on Magnetics. – 1992. – Vol. 28.2. – Pp. 1287–1290.
17. *Umbrashko A., Baake E., Nacke B., Jakovics A.* Modeling of the turbulent flow in induction furnaces // Metallurgical and Materials Trans. – 2006. – Vol. 37(5). – Pp. 831–838.
18. UPCAST, <http://www.upcast.com/> , Finland.

[PDF](#)