



УДК 621.783.223:621.365

DOI 10.17073/0368-0797-2023-5-613-615



Краткое сообщение
Short report

К ИССЛЕДОВАНИЮ ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА МЕТАЛЛА

А. Д. Апасова[✉], И. А. Левицкий, К. С. Шатохин

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., 4)

✉ annhope@bk.ru

Аннотация. Результаты данной работы позволяют упростить отработку технологии импульсного нагрева металла. Создан программный продукт для подбора оптимальных значений режимных параметров импульсного нагрева на математической модели, что существенно сокращает время наладки теплового агрегата, использующего эту технологию. Тестовые расчеты показали адекватность полученных результатов режимным параметрам функционирующих проходных нагревательных печей, оснащенных скоростными струйными горелками. Проблемы управления нагревом металла стали особенно актуальны в связи с распространением высокопроизводительных прокатных станов и все более повышающимися требованиями, предъявляемыми к качеству нагрева металла. В связи с этим, полная реализация программы исследований позволит выработать конкретные рекомендации по увеличению производительности нагревательных печей и улучшению показателей их энергоэффективности.

Ключевые слова: режим нагрева, АСУ ТП, импульсный нагрев, нагревательные печи, математическая модель, газовая горелка, температура, металл

Для цитирования: Апасова А.Д., Левицкий И.А., Шатохин К.С. К исследованию импульсного нагрева металла. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2023;66(5):613–615. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-5-613-615>

ON THE STUDY OF PULSED METAL HEATING

A. D. Apasova, I. A. Levitskii, K. S. Shatokhin

National University of Science and Technology “MISIS” (4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation)

✉ annhope@bk.ru

Abstract. The work makes it possible to simplify development of pulsed metal heating technology. A software product was created to select the optimal values of operating parameters of pulsed heating on a mathematical model, which significantly reduces the setup time of a thermal unit using this technology. Test calculations showed adequacy of the results obtained to the operating parameters of functioning through-pass heating furnaces equipped with high-speed jet burners. The problems of controlling metal heating became particularly relevant due to the proliferation of high-performance rolling mills and increasing requirements for the quality of metal heating. In this regard, full implementation of the research program will make it possible to develop specific recommendations for increasing the productivity of heating furnaces and improving their energy efficiency.

Keywords: heating mode, automatic process control system, impulse heating, heat furnaces, mathematical model, gas burner, temperature, metal

For citation: Apasova A.D., Levitskii I.A., Shatokhin K.S. On the study of pulsed metal heating. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(5): 613–615. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-5-613-615>

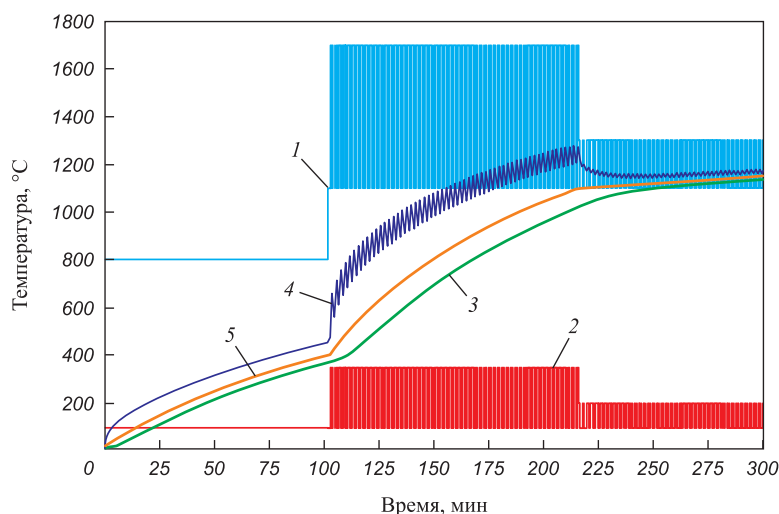
Поиск скрытых резервов энергосбережения и их использование – мощный фактор повышения конкурентоспособности продукции. Прокатное производство по затратам энергии на получение готовой продукции занимает второе место (после доменного производства). При этом 95 % затрат приходится на долю газа и электроэнергии, из них 60 % – на нагрев заготовок под прокатку в печах [1].

Расчет энергетических затрат в технологическом процессе нагрева металла показывает, что существует

несколько подходов к решению проблемы энергосбережения:

- строительство печей с минимальными потерями теплоты в окружающую среду и воздействием этих потерь на процесс нагрева металла;
- достижение оптимальных температур обработки металла за короткий период времени;
- совершенствование АСУ ТП [2 – 4].

Способ нагрева металлических заготовок, который соответствует указанным требованиям, должен дости-



Импульсный режим нагрева металла:
1 – температура среды, °C; 2 – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·K); 3 – температура центра заготовки, °C;
4 – температура поверхности заготовки, °C; 5 – средняя температура заготовки, °C

Pulse mode of metal heating:
1 – temperature of the medium, °C; 2 – heat transfer coefficient, W/(m²·K); 3 – ingot center temperature, °C;
4 – ingot surface temperature, °C; 5 – ingot average temperature, °C

гать оптимального температурного режима за малое время, иметь локальное действие, но при этом передавать достаточно теплоты для обработки изделий. Технологией такого рода можно считать импульсные режимы нагрева металла.

Основной класс горелочных устройств, применяемых в системах импульсного отопления – это скоростные струйные горелки, работающие на природном газе [5]. Импульсный нагрев основывается либо на системе позиционного автоматического прерывания, либо на перестраиваемой по частоте и скважности пульсаций системе прерывания при продолжительности периода «включено – выключено» 0,5 – 2,5 мин. Коэффициенты теплоотдачи конвекцией $a_{\text{конв}}$ могут достигать 300 Вт/(м²·K) и более [6].

Режим работы горелок подбирается экспериментально при наладке тепловых агрегатов, однако из-за высокой тепловой инерционности печей это требует много времени. Поэтому целесообразно предварительные значения режимных параметров импульсного нагрева определять на математической модели.

Разработана программа, моделирующая результаты следующего процесса. Заготовка в форме пластины или цилиндра, имеющая однородное температурное поле, помещается внутрь проходной нагревательной печи, в зонах которой задаются температура среды и $a_{\text{конв}}$, соответствующие включенным и выключенным горелкам. Переключение «включено – выключено» происходит при достижении заданной продолжительности нагрева t либо заданного перепада температур по толщине заготовок ΔT .

На рисунке показаны температурные режимы печи и интервал нагрева металла со следующими параметрами:

- температура в методической зоне, где нет горелок – 800 °C, $a_{\text{конв}}$ – 100 Вт/(м²·K);
- температура и $a_{\text{конв}}$ в сварочной зоне для случаев «включено» и «выключено»: 1700 °C и 300 Вт/(м²·K), 1100 °C и 100 Вт/(м²·K) соответственно;
- температура и $a_{\text{конв}}$ в тоильной зоне для случаев «включено» и «выключено»: 1300 °C и 200 Вт/(м²·K), 1100 °C и 100 Вт/(м²·K) соответственно;
- время работы и отключения горелок – 1 мин.

Выводы

Разработан программный продукт для оптимизации режимных параметров импульсного нагрева металла в проходных нагревательных печах.

Успешная реализация программы исследований позволит выработать рекомендации по увеличению производительности печей и улучшению энергоэффективности процесса нагрева заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Фастыковский А.Р. Энергосберегающие технологии получения сортовых прокатных профилей. *Технические науки – от теории к практике*. 2016;11(59):52–56.
Fastykovskii A.R. Energy saving technology for rolling varietal profiles. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*. 2016;11(59):52–56. (In Russ.).
2. Коробейников В.В., Ткаченко С.С. Энергосберегающие нагревательные агрегаты нового поколения. *Литье и металлургия*. 2017;3(88):34–38.
Korobeinikov V.V., Tkachenko S.S. Energy saving heating units of new generation. *Lit'e i metallurgiya*. 2017;3(88):34–38. (In Russ.).

3. Панферов В.И. Об экономичном управлении нагревом металла в промышленных печах. *Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2018;18(2):71–80.
<https://doi.org/10.14529/ctcr180207>
Panferov V.I. About economic management of heating metal in industrial furnaces. *Vestnik YuUrGU. Series: Computer technologies, control, radio electronics*. 2018;18(2):71–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/ctcr180207>
4. Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Ахметов Т.У. Совершенствование информационного обеспечения энергосберегающих режимов нагрева металла. *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. 2015;3(2):122–127.
Andreev S.M., Parsunkin B.N., Akhmetov T.U. Perfecting information support energy-saving modes of heating metal. *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*. 2015;3(2):122–127. (In Russ.).
5. Boom R. Research fund for coal and steel RFCS: a European success story. *Ironmaking & Steelmaking*. 2014;41(9):647–652.
<https://doi.org/10.1179/0301923314Z.000000000313>
6. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. *Технология энергосбережения*. Москва: ФОРУМ, ИНФРА-М; 2006:352.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Анна Дмитриевна Апасова, аспирант кафедры энергоэффективных и ресурсосберегающих промышленных технологий, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
E-mail: annhope@bk.ru

Игорь Анисимович Левицкий, к.т.н., доцент кафедры энергоэффективных и ресурсосберегающих промышленных технологий, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
ORCID: 0000-0002-9345-3628
E-mail: lewwwis@mail.ru

Константин Станиславович Шатохин, к.т.н., доцент кафедры энергоэффективных и ресурсосберегающих промышленных технологий, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
E-mail: shatohin_ks@mail.ru

Anna D. Apasova, Postgraduate of the Chair “Energy-Efficient and Resource-Saving Industrial Technologies”, National University of Science and Technology “MISIS”
E-mail: annhope@bk.ru

Igor’ A. Levitskii, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair “Energy-Efficient and Resource-Saving Industrial Technologies”, National University of Science and Technology “MISIS”
ORCID: 0000-0002-9345-3628
E-mail: lewwwis@mail.ru

Konstantin S. Shatokhin, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair “Energy-Efficient and Resource-Saving Industrial Technologies”, National University of Science and Technology “MISIS”
E-mail: shatohin_ks@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

А. Д. Апасова – построение модели, выполнение расчетов.
И. А. Левицкий – консультации в построении модели.
К. С. Шатохин – концепция исследования.

A. D. Apasova – model construction, calculations.
I. A. Levitskii – consulting on model construction.
K. S. Shatokhin – conceptualization.

Поступила в редакцию 23.06.2023
После доработки 22.07.2023
Принята к публикации 29.08.2023

Received 23.06.2023
Revised 22.07.2023
Accepted 29.08.2023