

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Завизин А.В., Линейцев А.В., Гинькова С.М.  
научный руководитель д-р техн. наук Пискажова Т. В.  
*Сибирский Федеральный Университет Институт Цветных Металлов и  
Материаловедения*

В связи с огромным разнообразием видов цветных металлов и процессов их обработки, тепловое оборудование, используемое в цветной металлургии, различается по конструкции, механизмам нагрева и функциональности [1]. При этом остается актуальным вопрос оптимизации конструкции и режимов работы металлургических печей. Совершенствование тепловых устройств и разработка алгоритмов управления могут быть направлены на энергосбережение, удешевление и увеличение их срока службы.

Программный комплекс SolidWorks предназначен для автоматизации работ на этапах конструкторской и технологической подготовки производства изделий любой степени сложности и назначения [2].

Целью настоящей работы является построение 3D модели сложносоставного технологического оборудования с высокой степенью детализации.

Ограничимся рассмотрением печного оборудования резистивного типа. Одним из наиболее распространённых видов оборудования являются тигельные печи сопротивления на температуры от 600 °С до 1000 °С с объёмом рабочего пространства от 0,1 до 0,5 м<sup>3</sup> (рис. 1).

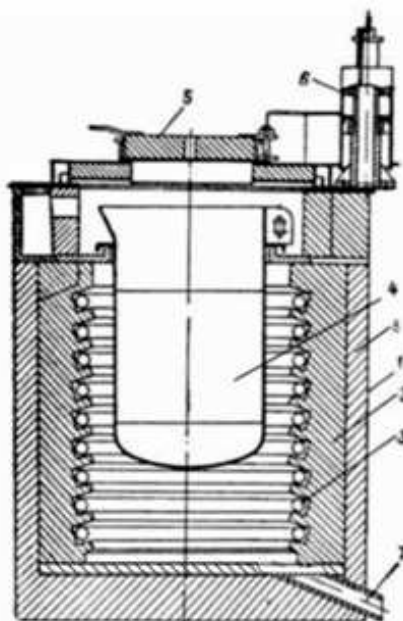


Рис. 1. Тигельная печь сопротивления:

1 – кожух; 2 – огнеупор; 3 – нагреватели; 4 – тигель; 5 – крышка; 6 – механизм подъема крышки; 7 – отверстие для аварийного слива металла; 8 – теплоизоляция

Конструктивно электропечь является шахтной, с тиглем, изготовленным из жаропрочной стали или чугуна.

Шахта электропечи представляет собой цилиндрический кожух, футерованный огнеупорными и теплоизоляционными материалами. Контроль теплового режима

рабочего пространства электропечи производится автоматически с помощью встроенных в конструкцию печи термодатчиков и регулятора температуры, расположенного в шкафу управления.

Для простоты вычислений, модель было решено упростить (рис. 2). Были убраны носик для слива металла, выводы от нагревателей, аварийный канал в футеровке.

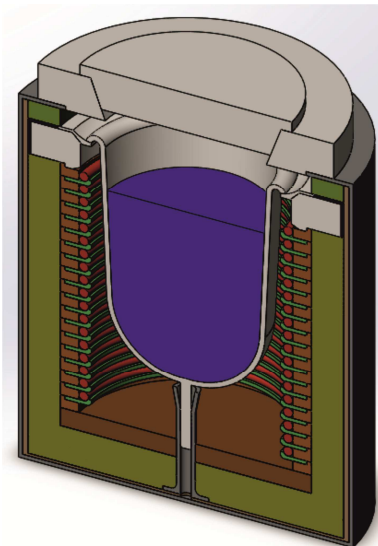


Рис. 2. Упрощенная трехмерная модель тигельной печи сопротивления

Материалы, используемые в данной модели, представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Теплофизические свойства материалов

Материал	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$c_p$ , Дж/(кг·К)	$\lambda$ , Вт/(м·К)
Обычная углеродистая сталь	7800	440	43
Асбестовый картон	1250	835	0,157
Диатомит	444	920	0,163
Шамот	1800	865	0,7
Многошамотные изделия	2300	865	1,04
Нихром	8400	450	23
Алюминий	2688,9	858-1180*	237-225*

\*в диапазоне температур 300-933,4 К

Моделируемая тигельная печь сопротивления имеет 18 нагревателей, расположенных на полочках, изготовленных из многошамотного материала. Нагреватели изготовлены из нихрома, и представлены в форме кольца.

### Расчет тигельной печи сопротивления

Расчет данной печи проводился в ПО SolidWorks в пакете Flow Simulation [3], так как этот пакет позволяет упростить процесс создания расчётной конечно-элементной сетки, по сравнению с пакетом Simulation.

Было проведено несколько расчетов с разными значениями мощности нагревателя, целью которых было нахождение необходимой мощности нагревателей для достижения заданной средней температуры нагрева металла. Во всех расчетах неизменным остается только температура окружающей среды равная 293 К и

коэффициент внешнего теплообмена, у дна он равен  $5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ , у остальных стенок и крышки  $20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ . Степень черноты поверхности расплава равняется 0,3, с других поверхностей 0,8. Излучение с внешних поверхностей печи в окружающую среду не учитывалось. Мощность нагревателей менялась со 126 кВт до 40 кВт.

На рис. 3 представлен результат расчета тепловых полей при мощности нагревателей 40 кВт, в котором значение температуры можно определить по цветовой температурной шкале.

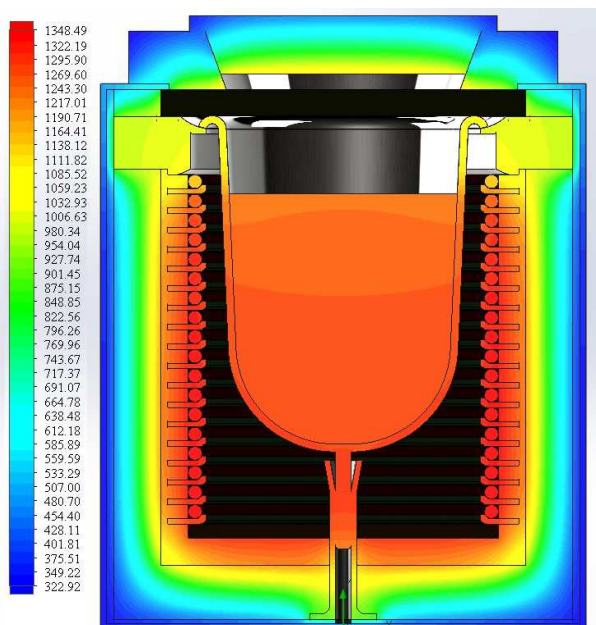


Рис. 3. Распределение температуры в тигельной печи сопротивления при мощности нагревателей 40 кВт

Результаты остальных расчетов сведены в табл. 2, в которой отображены температуры областей печи при различной мощности нагревателей.

Таблица 2

**Сравнение тепловых характеристик печи при изменении мощности нагревателей**

Температура, К	Мощность нагревателей				
	126 кВт	100 кВт	80 кВт	60 кВт	40 кВт
Средние температуры:					
в металле	1680,96	1578,56	1484,18	1417,05	1265,24
нагревателей	1766,64	1658,24	1559,10	1472,26	1315,16
тигля	1588,88	1489,98	1399,39	1366,50	1219,37
крышки	983,16	903,63	830,41	671,98	608,16
кожуха	427,15	427,17	413,82	402,82	382,62
Температуры на уровне А (рис. 4):					
в контрольной точке 1	1641,09	1545,21	1454,57	1399,36	1251,59
в контрольной точке 2	1650,20	1547,49	1467,33	1387,37	1248,55
в контрольной точке 3	1017,88	930,49	910,80	837,78	749,67
в контрольной точке 4	485,47	458,05	454,02	438,37	430,60
в контрольной точке 5	409,24	400,36	389,28	384,86	369,49

В таблице представлены расчетные температуры областей и поверхностей, которые достигаются при указанной мощности в условиях длительной работы печи. В производственной практике известные температуры расплава и кожуха меньше, так как в цехе работа печи ограничивается временем нагрева металла в тигле до нужной температуры.

По результатам, представленным на рис. 3 и в табл. 2 можно судить о качественной адекватности тепловых расчетов, как по распределению температур, так и по изменению температур областей при изменении подведенной мощности.

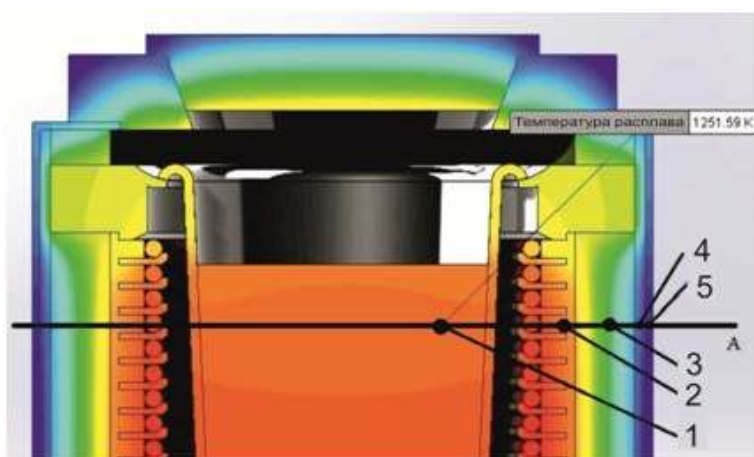


Рис. 4. Температура в контрольной точке на уровне А

Проведена тестовая оптимизация тепловой работы тигельной печи путем изменения самой программой мощности нагревателей в пакете Flow Simulation. Мощность нагревателей изменяется в пределах от 20 кВт до 50 кВт. Критерий оптимизации – достижение средней температуры расплава, равной  $1023 \pm 30$  К. После проведения программой двух расчетов заданное значение средней температуры на нагревателях было достигнуто и равнялось 1024 К. При этом мощность нагревателей равнялась 20 кВт.

Разработана 3D-модель тигельной печи сопротивления, выполнены расчеты стационарных тепловых полей при работе печи с различной подведенной мощностью. Качественная адекватность расчетов позволяет использовать инструменты программного пакета SolidWorks для автоматического поиска оптимальных конструктивных и технологических решений.

### Библиографические ссылки

1. Гутман М. Б., Кацевич Л. С., Лейканд М.С. Электрические печи сопротивления и дуговые печи. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
2. SolidWorks Russia [Электронный ресурс]. URL: <http://www.solidworks.ru> (дата обращения 06.03.2014).
3. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 448 с.