

УДК 621.785.1.001.575

*О. Б. Крючков, В. Н. Стяжнин, А. С. Иванов, А. С. Кострюков, А. А. Кобзев***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА SolidWorks ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК В КАМЕРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail:olegk@vstu.ru

В настоящей статье приведены результаты математического моделирования с помощью пакета SolidWorks температурного поля в стальной цилиндрической заготовке из стали X18H10T при ее нагреве в камерной электрической печи с использованием излучения, естественной и вынужденной конвекции. Исследуемая заготовка в печи располагалась вертикально на полу и над подом печи. Нагрев образца проводили в печи без использования вентилятора, с одним и двумя вентиляторами. Эффективность технологии оценивали по затраченному на нагрев заготовки времени, а также перепаду температуры по сечению и высоте заготовки.

*Ключевые слова:* моделирование, температурное поле, излучение, конвекция, перепад температуры по сечению и высоте заготовки, время нагрева заготовки, электрическая камерная печь.

To the real article the results of mathematical design are driven by means of package of SolidWorks of the temperature field in a steel cylindrical purvevance from steel of X18H10T at her heating in a chamber electric stove with the use of radiation, natural and force convection. The investigated purvevance in a stove was situated apeak on поду and above подом of stove. Heating of standard was conducted in a stove without the use of ventilator, with one and by two ventilators. Efficiency technologies estimated on the time and also overfall of temperature expended on heating of purvevance on a section and height of purvevance.

*Keywords:* design, temperature field, radiation, convection, overfall of temperature on a section and height of purvevance, time of heating of purvevance, electric chamber stove.

При нагреве металлических заготовок под обработку давлением и термическую обработку с целью повышения производительности печного агрегата и качества нагрева стремятся затратить минимальное время при наименьшем перепаде температуры по сечению и высоте заготовки. При наличии большого сортамента металла, а, следовательно, и значительного количества садов, трудно без больших трудозатрат на эксперименты получить оптимальный режим нагрева. В данной работе сделана попытка показать принципиальную возможность использования пакета SolidWorks для расчета температурного поля в нагреваемой заготовке с целью отработки температурного режима нагрева для повышения качества нагреваемого металла.

В качестве печи-модели использовали камерную электрическую печь с внутренними размерами: ширина 190 мм, длина 310 мм и высота 125 мм. Излучение теплового потока принято со всех шести внутренних стен печи.

Нагрев образца проводили с начальной температуры 20 °С до температуры поверхности 980 °С, после чего фиксировались все температуры по трем сечениям заготовки (верх, середина и низ), температура печи и время нагрева. Начальная температура печи возрастала от начальной 500 °С до конечной –1000 °С. Исследование проводили по трем вариантам: с использованием излучения и естественной конвекции (нагрев без вентилятора), с использованием излучения и вынужденной конвекции (нагрев с од-

ним вентилятором), с использованием излучения и вынужденной конвекции (нагрев с двумя вентиляторами). При использовании одного вентилятора тепловой поток направляли на заготовку, а при использовании двух вентиляторов – тепловые потоки с целью создания лучшей циркуляции направляли навстречу друг другу по двум длинным сторонам печи. В печи-модели использовался циркуляционно-проточный режим с учетом незначительной утечки печной атмосферы через зазоры в загрузочном окне печи.

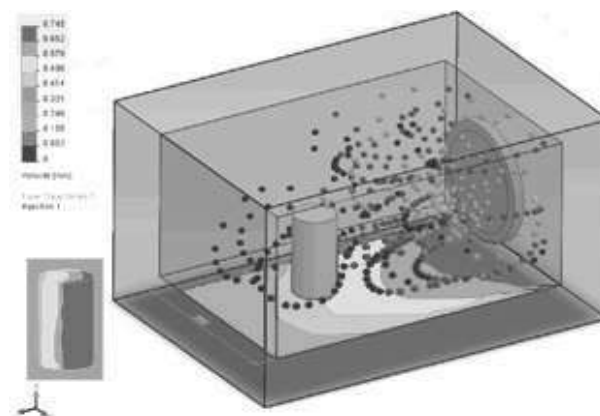


Рис. 1. Модель печи с одним вентилятором для исследования температурного поля в нагреваемом цилиндре

В качестве нагреваемой заготовки-модели использовали металлический цилиндр диаметром 18 мм с высотой 45 мм, который располагался вертикально на полу печи и над ее подом равномерно по высоте.

Модель печи с одним вентилятором для исследования температурного поля в нагреваемом цилиндре, характер движения печной атмосферы и распределение температуры в печи приведены на рис. 1.

Изменение температуры греющей воздушной среды печи, поверхности и центра исследуемого цилиндра приведены на рис. 2, а результаты экспериментов представлены в таблице. Выбор начальной температуры печи 500 °С обусловлен тем, что в промышленных условиях последующую садку металла загружают в уже прогретую печь.

Исходя из экспериментальных данных, самым неблагоприятным вариантом нагрева является расположение нагреваемой заготовки на поду печи: несмотря на относительно неболь-

шое время нагрева (190 с), в заготовке наблюдается самый большой перепад температуры по сечению заготовки, достигающий в процессе нагрева 227,47 °С. В конце нагрева перепад температуры составляет по сечению 37,18, а по высоте – 51,02 °С, что можно связать с влиянием прогретого пода.

Расположение заготовки над подом, что в промышленных условиях соответствует использованию проложки для создания возможности циркуляции греющей среды под и между нагреваемыми заготовками, хотя и приводит к возрастанию времени нагрева до 250 с, но при этом резко снижается максимальный перепад температуры в заготовке до 34,53 °С, перепад температуры по сечению в конце до 3,63 и высоте – до 2,58 °С.

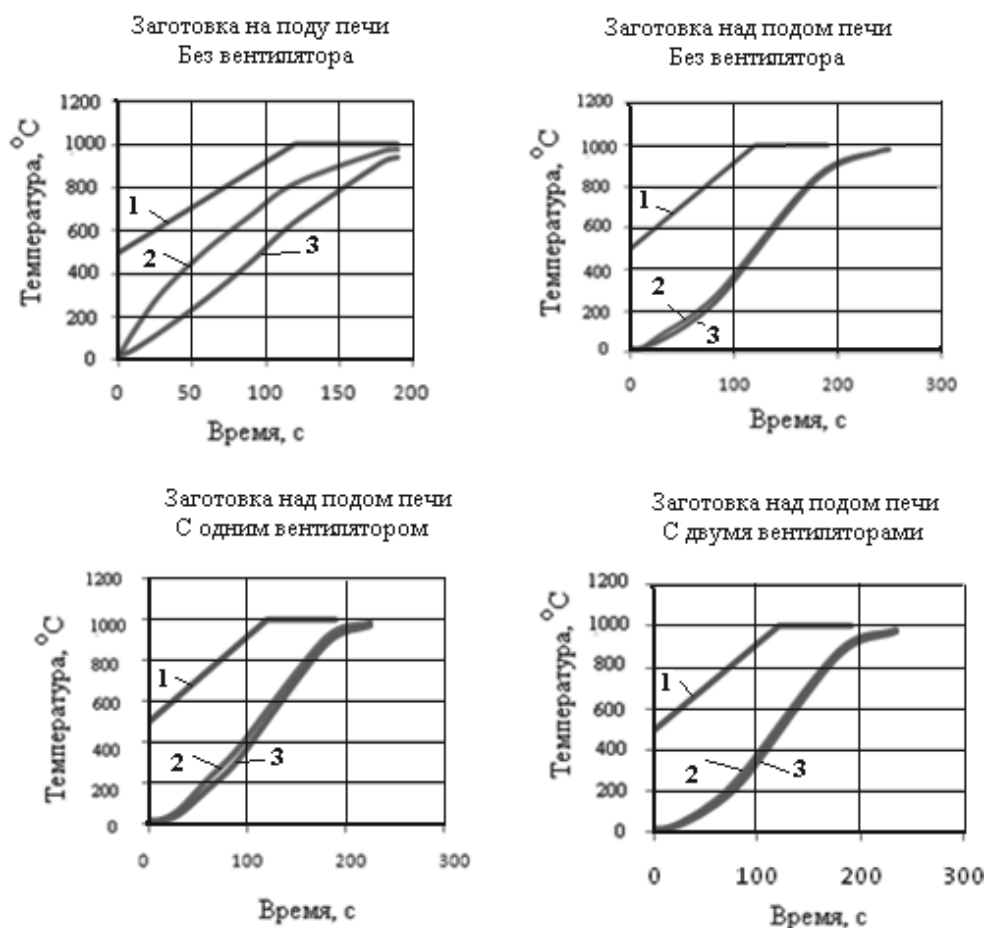


Рис. 2. Температурные режимы нагрева образца:  
 1 – температура печи; 2 – температура поверхности заготовки; 3 – температура центра заготовки

С целью повышения коэффициента теплоотдачи был использован один вентилятор с направлением теплового потока на заготовку. Как следует из таблицы, использование вентилятора приводит к сокращению времени нагрева

до 225 с, к снижению перепада температуры в конце нагрева по сечению до 8,03 °С и высоте цилиндра до 1,61 °С. Вместе с тем максимальный перепад температуры по сечению заготовки несколько возрос (52,8 °С).

**Результаты экспериментов при моделировании нагрева цилиндра в печи  
с начальной температурой 500 °С и конечной 1000 °С**

Заготовка (цилиндр $d = 18$ мм и $h = 45$ мм)									
Расположение заготовки									
На поду печи					Над подом печи				
Время, с	Печь без вентилятора			Печь без вентилятора			Печь с одним вентилятором. Поток направлен на заготовку		
	Поверх- ность (п)	Центр (ц)	Перепад (п-ц)	Поверх- ность (п)	Центр (ц)	Перепад (п-ц)	Поверх- ность (п)	Центр (ц)	Перепад (п-ц)
Температура, °С									
0	20,05	20,05	0,00	20,05	20,05	0,00	20,05	20,05	0,00
10	134,76	50,29	84,47	20,25	20,11	0,14	20,26	20,06	0,21
30	321,99	140,05	181,95	89,37	58,47	30,90	69,17	50,75	18,42
60	516,40	288,92	227,47	183,10	149,32	33,78	222,10	176,70	45,41
90	675,40	457,76	217,64	317,39	282,86	34,53	367,61	314,82	52,80
120	823,43	644,27	179,16	853,84	833,07	20,77	–	–	–
180	973,71	923,38	50,33	–	–	–	910,04	882,15	27,90
190	980,87	943,69	37,18	–	–	–	–	–	–
225	–	–	–	–	–	–	980,83	972,80	8,03
240	–	–	–	972,82	967,43	5,39	–	–	–
250	–	–	–	981,04	977,41	3,63	–	–	–
Перепад температуры по высоте заготовки			51,02	–	–	2,58	–	–	1,61
Над подом печи									
Печь с двумя вентиляторами. Поток направлен по длинным стенкам навстречу									
Время, с	Характеристика вентилятора расходов греющей среды, м <sup>3</sup> /ч								
	13,5			33			46		
	Поверх- ность (п)	Центр (ц)	Перепад (п-ц)	Поверх- ность (п)	Центр (ц)	Перепад (п-ц)	Поверх- ность (п)	Центр (ц)	Перепад (п-ц)
0	20,05	20,05	0,00	20,05	20,05	0,00	20,05	20,05	0,00
10	20,56	20,13	0,43	20,56	20,13	0,43	20,56	20,13	0,43
30	86,28	70,81	15,47	80,58	68,35	12,23	92,92	70,21	22,71
60	195,56	175,28	20,29	195,86	173,02	22,85	–	–	–
90	357,02	329,18	27,84	353,96	326,91	27,06	360,66	334,82	25,84
120	–	–	–	–	–	–	–	–	–
180	892,97	880,17	12,79	891,18	878,73	12,45	896,23	883,93	12,30
190	–	–	–	–	–	–	–	–	–
225	–	–	–	–	–	–	–	–	–
230	–	–	–	–	–	–	978,48	974,25	4,23
235	980,90	976,30	4,60	979,47	978,17	1,30	–	–	–
Перепад температуры по высоте заготовки			1,02	–	–	2,40	–	–	1,33

Для создания еще более интенсивного движения печной атмосферы в печи была использована схема нагрева заготовки с двумя вентиляторами. По этой схеме один вентилятор направляет тепловой поток по длинной стороне

печи в одну сторону, а второй вентилятор – в обратном направлении по противоположной стороне печи. Были опробованы три варианта нагрева с использованием трех вентиляторов с разными характеристиками. Марка вентилятора,

диаметр лопасти, обороты и расход приведены в таблице.

На основании проведенного моделирования установлено, что использование вентилятора марки 612NGH с расходом  $46 \text{ м}^3/\text{ч}$  дает наилучшие результаты: время нагрева снизилось до 230 с, перепад температуры по сечению в конце нагрева составил 4,23, а по высоте  $-1,33 \text{ }^\circ\text{C}$ , а максимальная температура по сечению в процессе нагрева составила  $25,84 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таким образом, на основании проведенного моделирования нагрева цилиндра в электрической камерной печи с использованием пакета SolidWorks установлена возможность контроля температурного поля в заготовках, которое зависит от температурного поля печи, места по-

ложения заготовки в печи, количества, технических характеристик и места положения вентиляторов в печи.

Дальнейшее исследование может быть направлено на моделирование нагрева различных сложных садок металла с использованием многообразных вариантов температурного поля печи.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кривандин, В. А.* Металлургические печи / В. А. Кривандин, Б. Л. Марков. – Изд. 2-е, доп и перераб. – М.: Металлургия, 1977. – 464 с.
2. *Алямовский, А.* SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. Алямовский, А. Собачкин. – BHVT, 2005. – 800 с.
3. *Золотухин, Н. М.* Нагрев и охлаждение металла / Н. М. Золотухин. – Машиностроение, 1973. – 192 с.