



Система управления с физической моделью

$$\Delta\tau(i) = \begin{cases} k_1 \{ T^p(i) - T^m(i) \} & \text{при } \{ \cdot \} \leq 0; \\ k_2 \{ T^p(i) - T^m(i) \} & \text{при } \{ \cdot \} > 0, \end{cases}$$

где $\Delta\tau(i)$ – время дополнительного нагрева или охлаждения модельного изделия на i -ом такте управления; T^p – температура натурального изделия, переведенная в масштаб модельного; T^m – температура модельного изделия; k_1, k_2 – пересчетные коэффициенты.

После выравнивания температур натурального и модельного изделий рассчитывали новую траекторию на-

грева, включающую величину и длительность нагрева с использованием физической модели. Затем полученная траектория пересчитывалась с помощью коэффициентов в траекторию нагрева натуральных изделий.

Таким образом, использование физических моделей и блоков обеспечения динамического подобия в системе управления структурой и свойствами сталей при термоциклической обработке позволяет повысить эффективность управления в условиях неопределенности.

© 2012 г. С.Н. Старовацкая, Л.П. Мышляев
Поступила 22 октября 2012 г.

УДК 621.745.34:66.041.88

А.В. Феоктистов

Сибирский государственный индустриальный университет

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГРАНОЧНОГО РЕКУПЕРАТОРА КОНСТРУКЦИИ «ТРУБА В ТРУБЕ»*

В вагранках с горячим дутьем часто используются рекуператоры из жаропрочной стали. При этом в зависимости от конструкции рекуператора, от состава и крупности шихтовых материалов температура горячего дутья находится в пределах от 400 до 620 °С. Однако такие рекуператоры в производственных условиях показали себя не надежными в работе из-за большой длины воздушного тракта, подсоса воздуха через несплошности и частых взрывов смеси газов, засорения и прогара жаростойких труб. Из сказанного следует, что необходимы новые конструктивные решения по разработке

рекуператоров, способных осуществлять подогрев дутья свыше 400 °С и работать в условиях длительной кампании.

С целью поиска оптимальной конструкции рекуператора на кафедре литейного производства СибГИУ были разработаны различные конструкции рекуператоров типа «труба в трубе» и методика расчета их технологических параметров, включающая расчет состава колошниковых газов; расчет температуры воздуха и дымовых газов на выходе из рекуператора; расчет коэффициентов теплообмена и теплопередачи на дымовой стороне; расчет температуры подогрева воздуха для противотока; расчет температуры подогрева воздуха для прямотока; расчет количества воздуха на дожигание оксида углеро-

* Работа выполнена по заказу Министерства образования и науки РФ (№ 7.3909.2011).

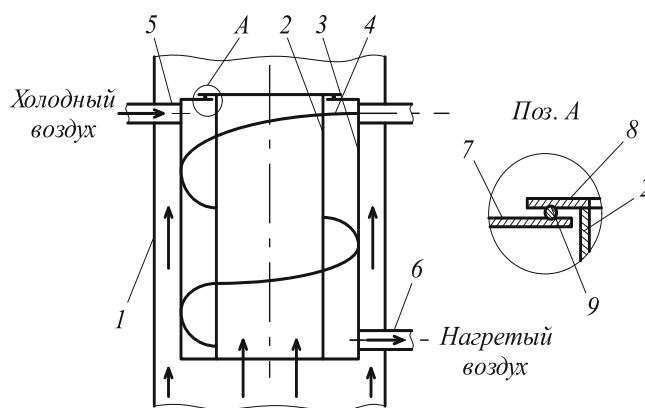
да в колошниковых газах. В процессе расчета основных параметров рекуператора по разработанной методике возможно варьировать его геометрические размеры и направление движения воздуха в нем.

Оптимальная конструкция рекуператора, установленного на вагранке диам. 1250 мм ЗАО «Изолит» и показавшая наилучшие результаты в процессе эксплуатации, представлена на рисунке и защищена патентами [1 – 4]. Такая конструкция позволяет подогревать дутье до 450 °С. Срок службы рекуператора составляет уже 2 года и пока не наблюдается каких-либо нарушений в его работе. Так как в вагранке проплавляется доменный шлак, в состав которого входят 38 – 40 % SiO₂, 18 – 20 % Al₂O₃, оксиды Ca и Mg, то поверхность труб рекуператора при нагреве в процессе работы подверглась алитированию и силицированию, т.е. покрылась пленкой оксидов алюминия и кремния, которые диффузионно проникли и насытили поверхность стальных труб. Поэтому окисления стальной поверхности и, тем более, прогара стенок труб не происходит.

Особенности расчета ваграночного рекуператора состоят в том, что его высота уже ограничена конструктивными особенностями вагранки, т.е. высотой верхней шахты от верха загрузочного окна до выхода газов в искрогаситель. Диаметры двух цилиндров рекуператора «труба в трубе» также определяются диаметром верхней шахты вагранки. Для расчета необходимо экспериментально определить средний состав колошниковых газов вагранки и их температуру. При устройстве такого рекуператора ваграночный процесс надо вести так, чтобы температура отходящих газов не опускалась ниже пределов воспламенения 630 – 650 °С.

В результате расчетов, лабораторной и промышленной практики выявлено, что без установки дополнительной горелки ниже загрузочного окна полезную высоту вагранки следует держать на уровне 4 – 4,5 м от первого ряда фурм. Только в этом случае отходящие колошниковые газы будут иметь необходимую температуру. На высоких вагранках большого внутреннего диаметра и большей полезной высотой воспламенение монооксида углерода следует производить с помощью дополнительной горелки, работающей на природном газе. Поэтому для расчета должно задаваться начальное содержание монооксида углерода в составе колошниковых газов и затем вычисляться количество воздуха, которое необходимо для дожигания этого количества оксида углерода.

Для методически верного расчета, являющегося основой реального проектирования, задавались следующие параметры: коэффициент избытка воздуха; температура колошниковых газов; температура газов на выходе из рекуператора; температура дутья; количество дутья; температура воздуха на дожигании монооксида углерода; тепловой эффект реакции $CO + 0,5O_2 = CO_2 + Q$, где $Q = 282\,583$ кДж/кмоль; степень черноты материала стенки рекуперато-



Конструкция рекуператора:

1 – шахта вагранки; 2 – внутренний цилиндр; 3 – внешний цилиндр; 4 – винтовая насадка; 5 – патрубок подвода холодного воздуха; 6 – патрубок отвода нагретого воздуха; 7 – нижнее кольцо; 8 – верхнее кольцо; 9 – шнур из углестекловолокна

ра – 0,98; средние теплоемкости газов и воздуха 1,50 и 1,34 кДж/(м³·°С) в рекуператоре. Расчет данного типа рекуператора проводился только численным методом с применением итерационной процедуры.

Для оптимизации методики расчета технологических параметров рекуператора конструкции «труба в трубе» была разработана программа в среде Borland Delphi, позволяющая моделировать протекающие процессы теплообмена в рекуператоре [5]. В результате проведенных расчетов были получены значения, которые хорошо подтверждаются практическими данными. Были выработаны технологические решения для проектирования и последующего монтажа рекуператора на вагранках с различной температурой подогрева воздуха в рекуператоре; из расчета был сделан вывод о том, что для рекуператора конструкции «труба в трубе» проток оказывается более эффективным, чем противоток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 89682 РФ, МПК F27B1/00, F23L15/04. Рекуператор вагранки / Пашков В.В., Селянин И.Ф., Феоктистов А.В. и др.; ГОУ ВПО «СибГИУ». № 2009128152/22; заявл. 21.07.09; опубл. 10.12.09.
2. Пат. 89683 РФ, МПК F27B1/00. Рекуператор вагранки / Пашков В.В., Селянин И.Ф., Феоктистов А.В. и др.; ГОУ ВПО «СибГИУ». № 2009128151/22; заявл. 21.07.09; опубл. 10.12.09.
3. Пат. 89684 РФ, МПК F 27 В 1/00. Рекуператор вагранки / Пашков В.В., Селянин И.Ф., Феоктистов А.В. и др.; ГОУ ВПО «СибГИУ». № 2009128149/22; заявл. 21.07.09; опубл. 10.12.09.
4. Пат. 99135 РФ, МПК F28D1/00. Рекуператор вагранки / Селянин И.Ф., Пашков В.В., Куценко А.И., Феоктистов А.В., Бедарев С.А.; ГОУ ВПО «СибГИУ». № 2010125296/02; заявл. 18.06.2010; опубл. 10.11.10.
5. Свидетельство № 2011617034 о государственной регистрации программы для ЭВМ "Расчет технологических параметров ваграночного рекуператора конструкции «труба в трубе»" / Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Бедарев С.А., Морин С.В. Заявл. 12.07.11; зарег. 09.09.11.