



The investigations and experience of implementation of constructions, that provide increase of gas-tightness of heat-exchangers, are described in the article. The given variants of compensators of different types allow to increase the reliability of operation of systems of the fuel furnaces waste flue gases heat using.

А. М. СЕЛЮТИН, В. А. ЖАРАНОВ, А. В. ТКАЧЕНКО, ГТУ им. П.О.Сухого

УДК 621.745

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ РЕКУПЕРАТОРОВ

Одним из наиболее эффективных путей сокращения удельного расхода топлива при плавке и тепловой обработке является подогрев воздуха за счет высокотемпературного тепла отходящих газов. При этом возврат тепла в печь достигает от 30–35% (одноступенчатый подогрев) до 60–65% (двух- или многоступенчатый подогрев).

Эффективность работы рекуператора зависит от режима и способа теплообмена (конвективный, радиационный), свойств и состава теплоносителей, разности температур, надежность — от правильности выбора материалов, сокращения до минимума отложений, взрывобезопасности, обеспечения механической прочности и герметичности. Последнее обеспечивается в основном устройством для компенсации температурных расширений. Существует несколько способов: «песочный затвор», скользящий фланец, лабиринтное или гофрированное соединение и др.

Самый сложный случай эксплуатации — условия работы радиационного встроенного рекуператора для вагранок, особенно когда для повышения эффективности теплообмена применяется противоточное движение теплоносителей. В этом случае температура теплопередающей стенки наиболее высокая — до 550–600 °С.

Для двухходового рекуператора радиационного типа, установленного на вагранке Минского автомобильного завода, был разработан компенсатор типа «песочный затвор». Эта конструкция позволяет свободно перемещаться тепловоспринимающему корпусу относительно несущего корпуса вагранки. Высота данного рекуператора составляет 13 м при диаметре 1850 мм.

Проведенный тепловой расчет рекуператора показал, что общее увеличение длины стенки рекуператора при ее разогреве от холодного состояния до рабочего режима и соответственно уменьшение при охлаждении составит ± 50 мм. Таким образом, необходимо разработать конструкцию компенсатора, которая позволяла бы теплообменной поверхности свободно удлиняться более чем на 50 мм и сохраняла герметичность

при длительной эксплуатации с учетом колебательного температурного режима.

Компенсатор был установлен в верхней части рекуператора. Представляет собой лабиринт, заполненный сыпучим материалом, состоит из кольцевого стакана на внешней поверхности корпуса вагранки, в который входит кольцевая оболочка, приваренная к внутреннему теплообменному цилиндру (рис. 1). Стакан состоит из кольца 1, приваренного снаружи к корпусу вагранки 5 и обечайки 2, приваренной к кольцу 1 соосно вагранке. Для предотвращения попадания пыли и воды в компенсатор установлены защитные крышки.

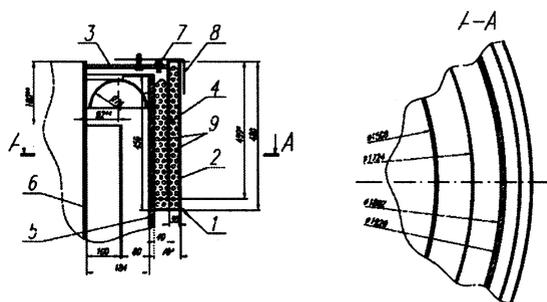


Рис. 1. Схема компенсатора радиационного рекуператора: 1 — кольцо; 2 — обечайка; 3 — кольцо; 4 — оболочка; 5 — корпус вагранки; 6 — тепловоспринимающий корпус рекуператора; 7 — пробка; 8 — защитная крышка; 9 — песок

От материала засыпки компенсатора зависят его газоплотность и геометрические размеры. Для определения газопроницаемости материала засыпки компенсатора была разработана экспериментальная установка, с помощью которой были проведены эксперименты по выбору наиболее пригодного газоплотного материала и определению необходимой высоты его слоя. Схема установки показана на рис. 2. Стенд состоит из вертикальной трубы диаметром 50 мм и высотой 1000 мм. Компрессором подается воздух, регулятором по показаниям манометра устанавливается давление, соответствующее давлению в рекуператоре. Воздуходувка вагранки развивает давление 1700 мм вод. ст. (17 кПа), для экспериментов устанавливалось давление 2000 мм вод. ст. (20 кПа).

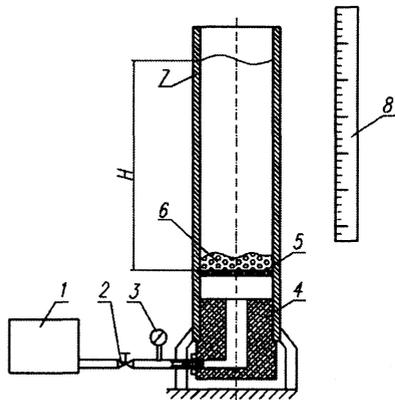


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – компрессор; 2 – регулятор; 3 – манометр; 4 – пробка; 5 – металлическая сетка; 6 – исследуемый материал; 7 – труба; 8 – мерная линейка

В качестве заполнительных материалов исследовали песок, чугунную дробь диаметром 0,5 мм, чугунную дробь диаметром 2 мм, чугунную стружку и совместное их использование в различных соотношениях.

Результаты исследования приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что наибольшей газоплотностью обладает песок, полная герметичность наступает при слое 600 мм. Все остальные исследованные материалы не обеспечивают газоплотность. Как показывает опыт, самый негерметичный материал – дробь диаметром 2 мм.

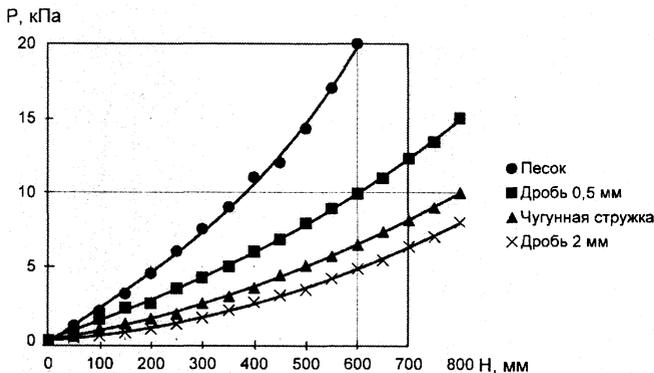


Рис. 3. Изменение газопропускаемости слоя материала засыпки компенсатора в зависимости от давления газового потока

На основе полученных результатов в качестве заполнителя для компенсатора был выбран песок, высота слоя которого должна быть не менее 600 мм, смешанный с чугунной дробью для увеличения насыпной плотности.

Производственные испытания на вагранке показали достаточную герметичность рекуператора, однако при длительной работе выявились неблагоприятные обстоятельства, которые делают подобные конструкции для вагранок ненадежными.

Компенсатор выполнен в верхней части рекуператора и конструктивно расположен внутри мокрого пылеуловителя. Конструкцией предусмотрена защита песочного канала от попадания воды во время работы вагранки. Однако в процессе

работы внутри пылеуловителя создается насыщенная паром атмосфера и песок как гигроскопичный материал накапливает влагу.

Влажный песок препятствует свободному перемещению оболочки 4. В результате возникают напряжения в сварных швах между теплопринимающим корпусом 6, кольцом 3 и оболочкой 4. Как следствие этих напряжений, возникают коробление и разрывы сварных соединений и нарушение герметичности рекуператора. Для обеспечения надежной работы была разработана другая конструкция компенсатора – «скользящий фланец», в которой герметичность создается за счет слоя термически стойкой ткани (рис. 4).

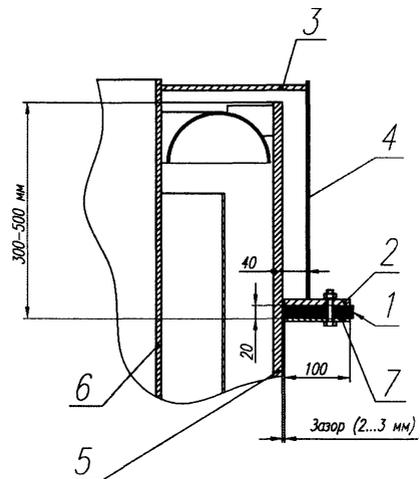


Рис. 4. Схема компенсатора: 1 – жаростойкая ткань; 2 – фланец; 3 – кольцо; 4 – обечайка; 5 – корпус вагранки; 6 – корпус рекуператора; 7 – прижимной фланец

Компенсатор имеет кольцо 3, приваренное к теплопринимающему корпусу 6. К кольцу приварена обечайка 4, к которой приварен скользящий по поверхности корпуса вагранки фланец 2. Ткань 1 устанавливается между фланцем 2 и прижимным фланцем 7 таким образом, чтобы обеспечить герметичность между корпусом вагранки 5 и обечайкой 4. При перемещении обечайки 4 ткань вжимается в зазор между фланцами и корпусом и обеспечивается герметичность рекуператора.

Производственные испытания разработанного компенсатора также показали надежную герметичность рекуператора. Однако производственная практика показала, что при длительной работе происходит механическое истирание ткани из-за постоянного перемещения уплотнителя, вызванного колебаниями температуры теплопринимающей стенки. При этом требуется постоянное (каждую смену) подтягивание фланца 7. Были испытаны различные типы тканей, но принципиальных отличий не найдено.

Для устранения выявленных недостатков была разработана конструкция металлического компенсатора из пяти тороидальных элементов С-образного профиля (рис. 5). Монтаж компенсатора

осуществляется в сжатом (на 50 мм) состоянии. Для этого предусмотрены зажимы, равномерно расположенные с внешней стороны по периметру компенсатора. После монтажа компенсатор закрепляется. Компенсатор, таким образом, в холодном режиме находится в сжатом (нагруженном) состоянии. В процессе нагрева и выхода на рабочий режим происходит разгрузка компенсатора. При сжатии все элементы работают равномерно, а при нагреве, когда соответственно снижаются механические свойства материала и сварных соединений, нагрузки снимаются. Это обеспечивает значительно более высокие показатели надежности, чем при работе секций компенсатора на растяжение.

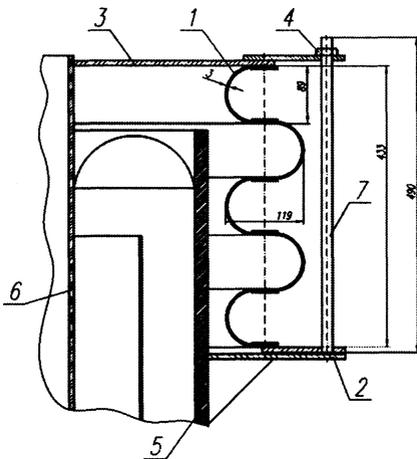


Рис. 5. Схема компенсатора: 1 - рабочий элемент компенсатора; 2 - опорный фланец; 3 - кольцо; 4 - гайка; 5 - корпус вагранки; 6 - тепловоспринимающий корпус рекуператора; 7 - шпилька

Такая конструкция была изготовлена для радиационного рекуператора, установленного на 8-тонной вагранке Могилевского металлургического завода. Производственные испытания показали надежную работу компенсатора вплоть до температуры стенки 600°C.

Для нагревательных газовых печей наиболее рациональными являются секционные конвективные рекуператоры, легко устанавливаемые на крыше печи. Из отдельных унифицированных секций набираются установки различной мощности по расходу и температуре нагреваемого воздуха путем параллельного и/или последовательного их соединения (рис. 6).

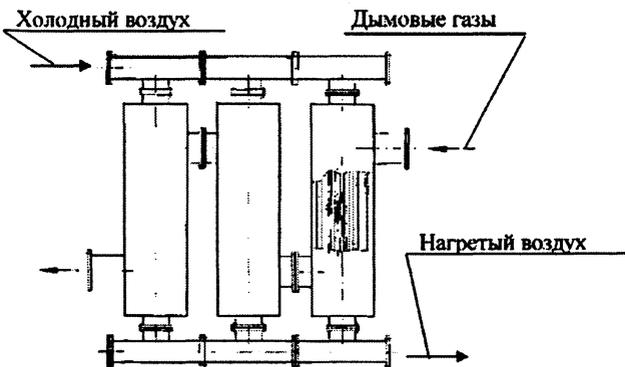


Рис. 6. Схема рекуператора, состоящего из отдельных теплообменных взаимозаменяемых блоков

Условие надежной эксплуатации не только оптимальный выбор металла, но и обеспечение герметичности труб при их температурных расширениях и удлинениях. Причем каждая из теплообменных труб имеет различные по величине колебания, что требует их независимого крепления.

Известны и применяются различные способы компенсаторов: сальниковые уплотнения, уплотнение по принципу поршневых колец и т.п. Для их установки и применения необходимы очень точное изготовление секций рекуператора, труб, а также строгая параллельность трубных досок. Сальниковое уплотнение требует постоянного осмотра и обслуживания. От плотности его набивки зависит надежность работы рекуператора. Слабая набивка приведет к негерметичности соединения, слишком плотная будет препятствовать перемещению трубы при удлинении. Поршневое кольцо - надежное уплотнение, но это сложный в изготовлении узел. Необходима высокая точность (прецизионность) в изготовлении сопрягаемых поверхностей (труба, втулка, кольцо). При этом нужно предусматривать втулку в трубной доске длиной, равной удлинению трубы.

С этой целью разработано устройство компенсации температурного расширения труб в конвективном рекуператоре. Оно представляет собой подвижное соединение, состоящее из втулки, прецизионно посаженной на хвостовик трубы теплообменника, прокладки и прижимной плиты (рис. 7). В трубной доске изготовлены отверстия для свободного прохождения труб. Втулка 3 с

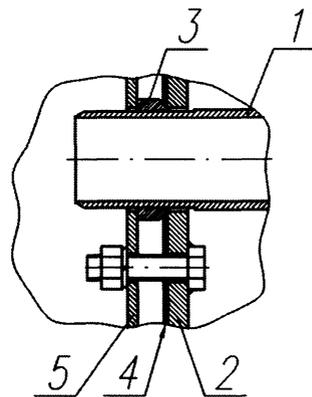


Рис. 7. Схема компенсатора для конвективного рекуператора: 1 - труба теплообменника; 2 - трубная доска; 3 - втулка; 4 - прокладка; 5 - прижимная плита

помощью прижимной плиты 5 через прокладку 4 поджимается к трубной доске 2. Конусная поверхность втулки плотно прижимает прокладку к краю отверстия в трубной доске, обеспечивая герметичность и одновременно центрируя трубу относительно отверстия. Таким образом, обеспечивается герметичное соединение между втулкой и трубной доской, а втулка в свою очередь позволяет перемещаться трубе при нагреве. Разработанный компенсатор обладает свойством герметичности лучше сальникового уплотнения и поршневого кольца, при этом проще в изготовлении и обслуживании.