

ними и остальной частью программы. Для деления программы на независимые фрагменты используются пакеты Perl, которые создают перепереключающиеся области имен. Это часть программы со своей собственной областью видимости идентификаторов.

Модули — это пакеты, оформленные в виде отдельных файлов, причем имена последних совпадают с именами модулей и имеют расширение .pm. Код, содержащийся в модуле, может экспортировать глобальные имена модуля в текущую область глобальных имен. Поэтому не нужно указывать имя пакета перед именем идентификатора при каждом обращении к нему.

**4.7. Объектно-ориентированное программирование.** Идея объектно-ориентированного программирования состоит в инкапсулировании данных и подпрограмм в виде объектов. В результате каждый объект становится полуавтономным, приватные данные и методы обособляются так, чтобы они не создавали беспорядок в общей области данных. Объект взаимодействует с остальной частью программы с помощью специального интерфейса — а именно, с помощью публичных методов.

При написании приложения использовался объект CGI и некоторые его классы. Объявление объекта в Perl происходит следующим образом:  
`$co = new CGI;`

Где \$co (сокращение от CGI Object, возможно любое другое имя) ссылка на созданный объект.

**4.8. Регулярные выражения.** Работа с текстом — это то, в чем Perl превосходит другие языки программирования. Регулярные выражения обеспечивают значительную часть возможностей Perl по обработке текстов. Они позволяют сопоставлять текст с указанным шаблоном (а именно, сравнивать две строки с помощью универсальных символов, интерпретируемых специальным образом) и выполнять замену текста. Таким образом, Perl предоставляет мощный инструмент для манипулирования текстом под управлением программы пользователя. Но также можно сказать, что регулярные выражения — это самый сложный и непонятный раздел в программировании на Perl, так как очень трудно разобраться в том, что делает конкретное выражение, но без них не было бы, наверное, самого языка, так как он задумывался именно для обработки текстов.

При написании системы удаленного администрирования регулярные выражения применялись повсеместно. В данном случае команда «`$message =~ s/\r\n/ /g;`» проверяет на наличие в переменной \$message символов возврата каретки и перевода строки, а при обнаружении меняет их на пробел. А в случае «`$filename =~ s/\\W/g;`» происходит замена символа «\» на «|».

**4.9. Работа с файлами.** Большинство программистов знакомо с принципами, на которых строится работа с файлами. Чтобы работать с данными, содержащимися в файле, программа связывает файл с соответствующим дескриптором (file handle), как говорят, программа открыла файл. Эта процедура создает поток ввода или вывода, и дальнейшие операции с файлом ссылаются на поток через дескриптор. По завершении работы с файлом он закрывается, то есть дескриптор файла денциализируется, так что дальнейшие операции с ним становятся невозможны. Работа с файлами — это еще одна важная возможность языка Perl, но так как язык Perl первоначально был ориентирован на применение в системах Unix, у него сохранились некоторые особенности при работе с файлами.

Так как данное CGI-приложение очень активно использует различные файлы, этот раздел программирования был особо важным при написании системы удаленного администрирования.

**5. Заключение.** При исполнении данной работы был изучен язык программирования Perl, который применялся при написании CGI-приложений, правила дизайнерского оформления web-сайтов и некоторые сопутствующие проблемы.

В результате работы над данным проектом был создан сайт Гродненского отделения Белорусской ассоциации урологов и система удаленного администрирования web-сайта. Таким образом, результатом данной работы стал конкретный программный продукт — CGI-приложение и web-сайт.

Сайт в данный момент расположен в локальной сети университетов города Гродно по адресу <http://192.168.92.242/~fox/>. Доступ к нему открыт для всех пользователей локальной сети.

#### Литература

1. Переверзева Н. А., Нечипоренко А. Н., Антоник Д. В. Разработка специализированного медицинского web-сайта и перспективы его использования // Белорусско-польский научно-практический семинар: тезисы докладов. — Минск, 2001. — С. 170.
2. А. Н. Нечипоренко, Н. А. Переверзева, А. И. Голуб, Д. В. Антоник. Создание специализированного медицинского web-сайта в сети Internet и его использование в научных, практических и образовательных целях // Технообраз 2001. Технологии непрерывного образования и творческого самообразования личности: Материалы III Международной научной конференции. — Гродно: ГрГУ, 2001. В 3 ч. Ч. 3. С. 97—98.
3. Переверзева Н. А., Нечипоренко А. Н., Антоник Д. В. Технология разработки и сопровождения специализированного web-сайта Гродненского отделения Белорусской ассоциации урологов // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: Материалы V международной научной конференции. — Гродно: ИСЗ, 2002. — В 2 ч. Ч. II. С. 173—175.
4. Антоник Д. В., Переверзева Н. А. Технология создания специализированного Web-сайта. Известия Белорусской инженерной академии, 2002. — №1(13)/2 2002. — С. 174—176.

© ГТТУ ИМ. П. О. СУХОГО

## РАДИАЦИОННЫЙ РЕКУПЕРАТОР ДЛЯ ВАГРАНКИ МАЗ

Д. В. Асадчий, А. В. Ткаченко

The problem of maintenance of stable and reliable work of recuperators in foundry manufacture till now is actual. Absence of the fulfilled constructive decisions of use of secondary power resources constrains growth of competitiveness of production of the domestic enterprises. Article is devoted to the decision of questions of designing of devices of hermetic sealing for built-in in the case cupola a radiating recuperator. Engineering calculation is resulted and researches pressurizing properties of various fillers of working area of the equaliser are lead. The suggested circuit of the equaliser is the optimum decision for the given case from the point of view of convenience of operation, reliability and maintenance of tightness of a path of movement of warmed up air.

*Ключевые слова:* вагранка, рекуператор, компенсатор, герметизация, энергосбережение.

Процессы плавки металлов в литейном производстве являются наиболее энергоемкими. Основная доля чугуна выплавляется в вагранках, имеющих термический к.п.д., не превышающий 40—45 %. Часть тепла топлива теряется с отходящими газами. Еще меньшую величину имеет к.п.д. нагревательных и термических, в том числе обжиговых печей от 7 до 15 %.

Одним из наиболее эффективных путей сокращения удельного расхода топлива является подогрев воздуха, необходимого для сжигания топлива в печи, за счет высокотемпературного тепла отходящих газов. При этом возврат тепла в печь достигает от 30—35% (одноступенчатый подогрев) до 60—65% — при двухступенчатом подогреве.

Оборудование плавильных печей в Республике Беларусь рекуператорами возможно осуществить в течение двух — трех лет силами самих предприятий, при условии предварительного решения ряда научно-технических проблем, связанных с исследованиями процессов теплопередачи при нестационарных режимах, переносом и осаждением аэрозолей, обеспечением термической и механической прочностью теплопередающих конструкций, а также совершенствованием технологии плавки и термообработки.

Настоящая работа посвящена решению одной из перечисленных задач, в частности, разработке надежного устройства компенсации температурного удлинения теплопередающей поверхности. Эта задача имеет первоочередное значение при внедрении рекуператоров на действующих печах — вагранках.

Создание работоспособных и эффективных рекуператоров — это не только практическая, но и научная проблема, решение которой позволит сократить расход дорогостоящего импортного кокса не менее чем на 25—30%, повысить качество литья, а также уменьшить загрязнение окружающей среды.

Проведенные исследования теплового баланса вагранок показали, что тепловой КПД составляет 40—45%. Наибольшие потери (~30—35%) приходятся на скрытое тепло горючих газов (СО), концентрация которых составляет 16—18%. Это позволяет использовать их в качестве вторичного источника тепла для подогрева.

На основании результатов исследования характеристик выбросов из вагранок и процессов пылеосаждения, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным типом рекуператора в условиях ваграночной плавки является радиационный щелевой: наименьшие отложения, достаточный высокий коэффициент теплоотдачи от газов, малое сопротивление и т.п. Для повышения к.п.д. рекуператора можно использовать двухходовую схему противоток-противоток.

Такой рекуператор обладает рядом преимуществ по сравнению с одноходовым щелевым рекуператором. Наличие промежуточного (среднего) цилиндра увеличивает поверхность нагрева на воздушной стороне. Благодаря противоточному движению воздуха и газов достигается более равномерное распределение температур по высоте цилиндров, интенсифицируется теплообмен, что делает конструкцию компактнее (передача теплоты единицей поверхности увеличивается на 40%, а единицей полезного объема — в 2,5 раза).

Разработан двухходовой рекуператор радиационного типа, предназначенный для установки на вагранке 12 т/ч с целью подогрева дутья за счет тепла отходящих газов до (300—350)°С, что обеспечивает сокращение расхода кокса на (20—25)%. Монтируется рекуператор в трубе вагранки над завалочным окном. Тип рекуператора — радиационный, щелевой, двухходовой. Рабочие режимы: температура ваграночных газов на входе в рекуператор — не менее 900°С, расход — (16—17) × 10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>/ч, расход нагреваемого воздуха — 12000 м<sup>3</sup>/ч (3,3 м<sup>3</sup>/с), температура воздуха на выходе из рекуператора — 350°С, сопротивление (на воздушной стороне) — не более 2000 Па (200 мм вод. ст.).

Для обеспечения надежной работы рекуператора температурные расширения должны быть учтены как при конструировании самого рекуператора, так и при его установке. Неправильный анализ или игнорирование тепловых расширений элементов рекуператора могут привести к перенапряжению их и выходу рекуператора из строя.

Особенно остро возникает проблема компенсации температурного удлинения теплопередающей поверхности в данной конструкции, так как отходящие дымовые газы имеют высокую температуру 900—1100°С и для повышения эффективности использования тепла применяется противоточная схема движения теплоносителей, при которой температура теплопринимающей стенки значительно выше.

В связи с этим возникает необходимость в разработке такой конструкции компенсатора, которая бы позволяла свободно удлиняться внутреннему жаропрочному корпусу и сохраняла герметичность всей конструкции.

Для рекуператора был разработан самый простой и надежный компенсатор типа «песочный затвор». Эта конструкция позволяет свободно перемещаться теплопринимающему корпусу при расширении. Как показал литературный обзор, такая конструкция используется в рекуператорах довольно часто. Аналогичный принцип широко применяется на термических печах с выкатным подом для герметизации рабочего пространства во время работы.

Проведенный тепловой расчет рекуператора позволил определить температуры нагрева воздуха в каждой из щелей рекуператора, а также температуру нагрева теплопередающей стенки. В нижней части рекуператора, то есть в месте входа дымовых газов и выхода горячего воздуха стенка прогревается до температуры 500°С. Температура стенки в средней части, а тем более в верхней, где согласно тепловому расчету температура дымовых газов колеблется в пределах 650—700°С, а воздуха — 60—100°С значительно меньше и составляет около 200°С. Однако расчет теплового расширения будем производить, предполагая, что стенка нагрета по всей длине до максимальной температуры, а именно 500°С. Это позволит получить значение наибольшего удлинения стенки.

Высота разработанного рекуператора составляет 13 м, соответственно и высота теплопередающей стенки равно 13 м. Совершенно очевидно, что при такой высоте и нагреве до 500°С температурное удлинение будет значительным и его необходимо рассчитать.

Линейное удлинение может быть определено по формуле:  $\Delta L = L_0 \beta (T_2 - T_1)$ , где  $\Delta L$  — величина линейного удлинения, м;  $L_0$  — первоначальная длина элемента, м;  $\beta$  — коэффициент линейного удлинения, 1/°С (для стали может быть принят 0,00011);  $T_2$  — конечная температура элемента, °С;  $T_1$  — начальная температура элемента, °С.

Общее увеличение длины стенки рекуператора при ее разогреве от холодного состояния до рабочего режима, и соответственно уменьшение при охлаждении составит:  $\Delta L = 13 \cdot 0,00011 \cdot (500 - 10) = 0,07007$  м ( $\approx 70$  мм).

Расчет показывает, что необходимо разработать конструкцию компенсатора, которая позволяла бы теплообменной поверхности свободно удлиняться на 70 мм и при этом сохраняла герметичность.

От материала засыпки компенсатора зависит его газоплотность и геометрические размеры.

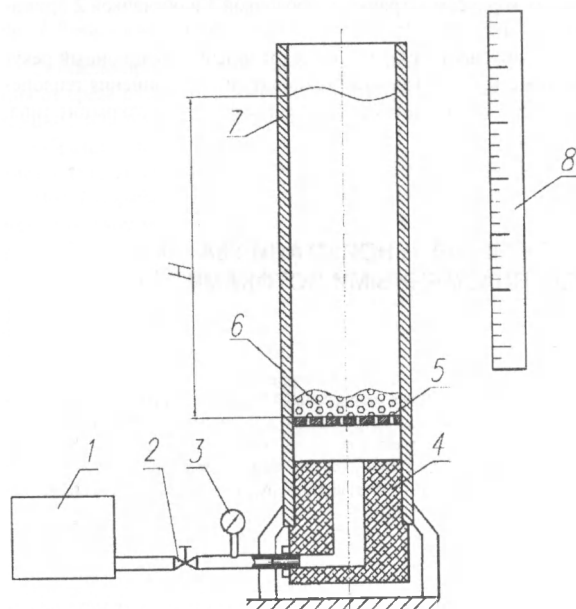


Рис. 1. Схема экспериментальной установки  
1 — компрессор; 2 — регулятор; 3 — манометр; 4 — пробка;  
5 — металлическая сетка; 6 — исследуемый материал; 7 — труба;  
8 — мерная линейка

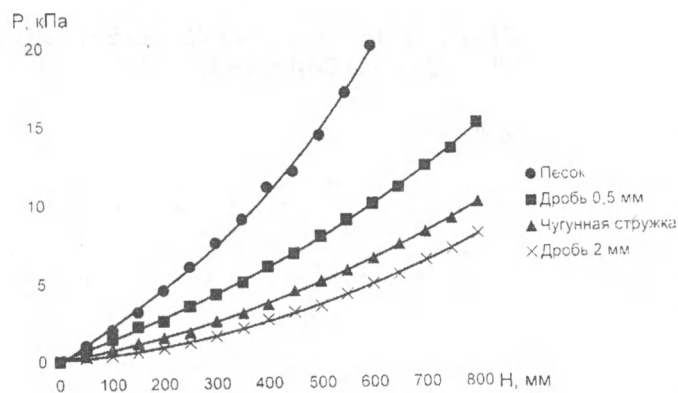


Рис. 2. Изменение газоплотности слоя по высоте

Для выбора наиболее газоплотного материала и определения необходимой высоты его слоя была разработана экспериментальная установка. Схема установки приведена на рисунке 1.

Стенд состоит из вертикальной трубы 7 внутренним диаметром 50 мм и высотой 1000 мм, закрытой пробкой 4. В пробке 4 имеется канал для прохождения воздуха и штуцер для подключения шланга. Компрессором 1 подается воздух, регулятором 2 по показаниям манометра 3 устанавли-

вается давление, соответствующее давлению в рекуператоре. Воздуходувка вагранки развивает давление 1700 мм вод.ст. или 17 кПа (0,17 кгс/см<sup>2</sup>), для экспериментов устанавливалось давление с запасом равное 20 кПа (0,2 кгс/см<sup>2</sup>). Для предотвращения забивания воздушного канала сыпучим материалом в пробке 4 установлена металлическая сетка 5 с размером ячейки 0,4 мм.

В качестве дополнительных материалов исследовались: песок, чугунная дробь диаметром 0,5 мм, чугунная дробь диаметром 2 мм, чугунная стружка.

Эксперимент проводился следующим образом: включали компрессор, пустую трубу сверху закрывали плотно рукой и устанавливали давление по манометру равное 20 кПа (0,2 кгс/см<sup>2</sup>). Отключали компрессор не меняя положения регулятора. Затем в трубу засыпали порциями высотой 50 мм исследуемый материал, включали компрессор и по показаниям манометра фиксировали изменение давления. Показания 20 кПа (0,2 кгс/см<sup>2</sup>) свидетельствуют о полной герметичности слоя материала, а меньшие — о негерметичности. Исследования производили до полного заполнения трубы материалом.

Результаты исследования представлены на рисунке 2. Они показывают, 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.

Таким образом, в качестве заполнителя для компенсатора принимаем песок, высота слоя которого должна быть не менее 600 мм.

Компенсатор установлен в верхней части рекуператора и представляет собой лабиринт, заполненный сыпучим материалом, который препятствует выходу воздуха из рекуператора. Компенсатор состоит из кольцевого стакана на внешней поверхности корпуса вагранки, в который входит кольцевая оболочка, приваренная к внутреннему теплообменному цилиндру (рис 3). Кольцевой стакан состоит из кольца 1, приваренного снаружи к корпусу вагранки 5 и обечайки 2, приваренной к кольцу 1 соосно вагранке. К внутреннему тепловоспринимающему корпусу 6 приварено кольцо 3, к которому, в свою очередь, приварена оболочка 4. Образовавшийся канал заполняется сыпучим материалом 9. Для заполнения внутренней полости предусмотрены ввинчивающиеся пробки 7. Для предотвращения попадания пыли и воды в компенсатор установлены защитные крышки 8.

Во время работы рекуператора под действием температуры жаростойкая оболочка 6 удлиняется. Вместе с ней поднимается и оболочка 4. При охлаждении тепловоспринимающего корпуса происходит обратный процесс и оболочка 4 опускается. Сыпучий материал не препятствует подтягиванию и опусканию оболочки 4 но обеспечивает постоянную газоплотность рекуператора.

Принципиальная схема компенсатора определена, теперь необходимо уточнить геометрические размеры. Из расчета температурного удлинения известно, что перемещение теплопередающей оболочки 6 относительно корпуса вагранки 5 составляет 70 мм. Одновременно с оболочкой 6 будет двигаться и кольцо 3 с оболочкой 4. Расчет размеров будем вести «снизу-вверх». Расстояние от нижней кромки оболочки 4 до кольца 1 принимаем равным 30 мм. В разогретом состоянии оболочка 4 поднимается на 70 мм, значит добавим к имеющимся 30 мм еще 70 мм. Так как песок находится по обе стороны оболочки 4 общую высоту слоя песка в 600 мм можем разделить пополам и принять для одной полости компенсатора — 300 мм. Таким образом суммарное расстояние от верхней края трубы вагранки 5 до кольца 1 составит 400 мм, это минимальное значение. Добавим еще в запас 50 мм, и получим общую высоту — 450 мм. Остальные размеры по высоте выбираются конструктивно исходя из требований к сварным швам, последовательности сборки и с учетом толщин металлов.

Кольцевые зазоры между корпусом вагранки 5, оболочкой 4 и обечайкой 2 принимаем соответственно 40 и 30 мм.

Таким образом, в результате работы разработан встроенный радиационный рекуператор, оснащенный устройством компенсации температурного удлинения теплопередающей поверхности, который может быть использован на вагранках открытого типа.

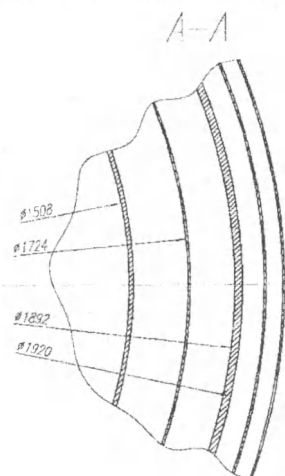
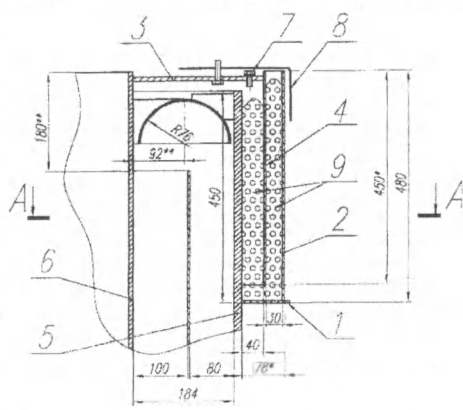


Рис. 3. Схема компенсатора

- 1 — кольцо; 2 — обечайка; 3 — кольцо;
- 4 — оболочка; 5 — корпус вагранки;
- 6 — тепловоспринимающий корпус рекуператора;
- 7 — пробка; 8 — защитная крышка; 9 — песок

© БГУ

## СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ У8А ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕЕ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

В. В. Асташицкий, В. В. Углов

The interaction of a dense compressive nitrogen plasma flow with carbon steel specimens have been investigated. The flows were generated by a magnetoplasma compressor, in which the acceleration of a plasma is accompanied with its compression due to interaction between longitudinal constituent of electric current and intrinsic azimuth magnetic field. Plasma parameters in the compression flow are as follows: discharge duration ~100 μsec; plasma velocity 5—106 cm/sec; electron density  $(4\pm 7)\cdot 10^{17}$  cm<sup>-3</sup>; plasma temperature  $2\pm 3$  eV. Value of power density absorbed by a sample surface is 15 J/cm<sup>2</sup> per pulse. As a result of the effect, a layered structure by the total depth up to 25 micron is formed at a specimen surface. Investigations of a surface structure and its phase composition were carried out using AES, XRD, CEMS, optical microscopy, along with studies of mechanical properties.

Ключевые слова: инструментальная сталь, плазменный поток азота.

**1. Введение.** Одним из приоритетных направлений физики твердого тела является разработка и исследование способов улучшения механических свойств различных материалов. Среди них отдельный интерес представляет химико-термическая обработка, в том числе и азотирование, которое может быть особенно эффективно для уменьшения разрушения рабочих поверхностей деталей и узлов. Как известно, эффективность, долговечность, надежность деталей и узлов систем и механизмов определяются в значительной степени не объемными, а поверхностными свойствами. Поэтому упрочнение поверхностей является актуальной задачей современных технологий.

В методах, основанных на воздействии на мишень компрессионными плазменными потоками азота, термическая обработка сочетается с одновременной ионной имплантацией. В то же время получение плазменных потоков с параметрами, достаточными для существенной модификации материалов, не является тривиальной задачей. На данный момент исследования по воздействию плазменных потоков на различные образцы ограничиваются условиями либо высокоэнергетического импульсного воздействия (длительностью до нескольких десятков микросекунд) [1].

