

уравнению (1). Далее, при увеличении расхода горючей смеси происходит незначительное смещение в сторону реакций (2)-(4).

**Выводы.** Проведено экспериментальное исследование горения смеси  $\text{CH}_4:\text{O}_2$  в среде низкопотенциального водяного пара. Определена область устойчивого горения смеси при исследуемых значениях расходных характеристик горючей смеси и водяного пара. Получена перегретая парогазовая смесь с температурой в диапазоне 480-600°C и давлением, близким к атмосферному. Повышение температуры парогазовой смеси происходит с увеличением доли подачи горючей смеси.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России; уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57614X0049.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дубовский, С. В. Современные проблемы и перспективы развития тепловой энергетики / С.В. Дубовский // Проблемы загляной энергетики. 2008, №8. – С. 7-15.
2. Boushaki T., Dhué Y., Selle L., Ferret B., Poinsot T. Effects of hydrogen and steam addition on laminar burning velocity of methane-air premixed flame: Experimental and numerical analysis // International Journal of Hydrogen Energy. 2012, Vol. 37, №11, P. 9412-9422. ISSN 0360-3199.
3. Махмутов, Р. А. Термодинамика паровой конверсии метана / Р.А. Махмутов [и др.] // Башкирский химический журнал. 2010, Т.17, №3. – С. 137-139.

Научный руководитель: Н.А. Прибатурин, д.т.н., гл. научный сотрудник, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН.

#### **КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ОСНОВА РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

О.М. Кокшарев<sup>1</sup>, А.И. Артамонцев<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>Томский политехнический университет  
ЭНИН, ПГС и ПГУ, <sup>1</sup>группа 5ВМ51

Тепловая энергетика – динамично развивающаяся отрасль на протяжении последних 80 лет. КПД тепловых станций за этот период вырос с 10 до 60 %, что позволяет достигать сразу две цели – снизить удельный расход топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии и

улучшить экологические показатели энергоблоков, включая сокращение выбросов, создающих так называемый «парниковый эффект». В соответствии с термодинамикой, термический КПД тепловых электростанций повышается за счёт увеличения температуры и давления пара. В свою очередь, освоение более высоких параметров пара во всем мире сопровождалось разработкой и внедрением новых конструкционных материалов.

Выпускаемые в настоящее время изделия работают в очень тяжелых эксплуатационных условиях. Известные стали и чугуны уже не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к различным изделиям. Условия работы современных энергетических комплексов выдвигают требования прочности и стойкости конструкционных материалов в широком диапазоне температур.

Стремление авторов машин поднять рабочие давления, скорости и температуры, уменьшить массу изделий, приходящуюся на единицу создаваемой или передаваемой мощности, определило тесное взаимодействие работоспособности агрегатов от достижений материаловедения.

Так, переход от среднего (до 4 МПа, 450 °С) на высокое давление (10 МПа, 500 °С) был обеспечен созданием низколегированных теплоустойчивых хромомолибденовых сталей перлитного класса (15ХМ).

Выход на параметры для высокого (14 МПа, 570 °С) и сверхкритического (25 МПа, 560 °С) давления стал возможным благодаря внедрению низколегированных теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей перлитного класса марок 12Х1МФ и 15Х1М1Ф для пароводяных систем, а для пароперегревателей котлов с температурой до 620 °С использованы высоколегированные стали аустенитного класса типа 12Х18Н12Т [1].

Что касается требований, предъявляемых к материалам наиболее изнашиваемых деталей турбин ТЭС и АЭС – лопаток, роторов и корпусов, то здесь все зависит от условий их работы. Большой охват изменения давлений, температур, влажности, напряжений, нестационарные условия работы, длительность срока эксплуатации – все это обуславливает потребность применения высококачественных сталей и сплавов. Так, для роторов паровых турбин на параметры до 600 °С разработана сталь Р2М2 (25ХМ1ФА).

Для важных сварных деталей, работающих под давлением (линзы компенсаторов, обечайки ресиверов и др.), применяется углеродистая качественная конструкционная сталь марки 20 или хромоникеле-

вая аустенитная сталь 12X18H9T (детали ресивера турбины К-500-65/3000 от ЦВД к СПП).

За рубежом по прочности на разрыв, сопротивлению ползучести и усталости, а также микроструктурной и термодинамической устойчивости для роторов, дисков и лопаток турбин были выбраны три сплава: Nimonic 105, Haynes 282 и Waspalloy.

Качественный скачок в мировой энергетике на параметры 600-620 °С и 26-30 МПа стал возможен благодаря созданию высокожаропрочных высокохромистых сталей мартенитно-ферритного класса. В импортных сталях это марки Р-91 и Р-92 Европейского союза и США [2].

В нашей стране была разработана подобная Р-91 сталь – 10Х9МФБ (ДИ-82) с разрешенной температурой 600 °С [3]. В последние годы на базе стали ДИ-82 создана сталь марки 10Х9В2МФБР, дополнительно легированная вольфрамом с температурой применения 620-630 °С [4, 5]. Эта сталь считается аналогом Р-92. На базе этой стали в ЦНИИТ-маше разработана высокохромистая сталь с легированием кобальтом 10Х9К3В2МФБР и температурой использования до 650 °С [4].

Следует отметить такую сталь как 10Х16Н16В2МБР (ЭП-184), высоколегированную сталь аустенитного класса, разработанную в СССР в 70-е годы прошлого века. Эта сталь показала высокие жаропрочные свойства [6]. Однако для сталей аустенитного класса коэффициент линейного расширения весьма высок и поэтому для работоспособности сварных швов паропроводов при эксплуатации этих сталей необходимо увеличивать время пусков-остановов. С учетом этого данная сталь является перспективной для пароперегревателей котлов с расчетной температурой до 700 °С.

На данном временном этапе Министерство энергетики США (DOE) организовало и финансирует работы по созданию энергоблока с температурой пара до 760 °С. При этом важное значение придается разработке конструкционных материалов, поскольку такой уровень параметров пара потребует применения новых материалов – сплавов на никелевой основе.

На рис. 1 показаны состав конструкционных материалов энергоблока в зависимости от параметров пара.

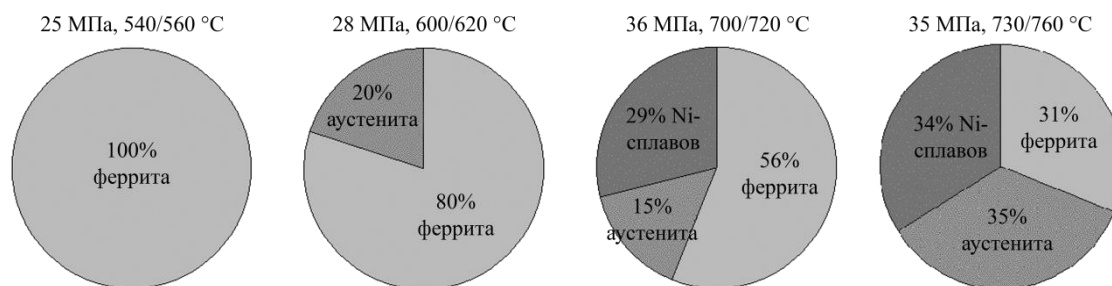


Рис.1. Выбор конструкционных материалов для различных параметров пара [7]

По сравнению с современной пылеугольной электростанцией со сверхкритическими параметрами пара (582 °С,  $262 \cdot 10^5$  Па) станция с перспективными ультрасверхкритическими параметрами (УСКП) (760 °С,  $345 \cdot 10^5$  Па) могла бы производить на 14% меньше  $\text{CO}_2$  на 1 МВт·ч с экономией средств в размере 14 дол. на 1 т  $\text{CO}_2$ . Вдобавок, ультрасверхкритические параметры пара не повысят КПД более чем на 3 %. Этот выигрыш будет сопровождаться существенным ростом капитальных затрат на строительство и изучение новых материалов, которые будут отвечать заданным свойствам. Также стали из данных материалов являются трудносвариваемыми и имеют высокую склонность к образованию трещин, несмотря на применение специальных технологических мер – подогрева и высокого отпуса.

Следует отметить, что данных по созданию сверхжаропрочных сплавов и их испытаниям в открытой печати крайне мало. Есть данные по европейскому проекту AD700 создания энергоблока с температурой пара 700 °С, КПД – 53 %, который на сегодняшний день приостановлен из-за высокой стоимости создания блока, которая не оправдывается повышением экономичности и снижением вредных выбросов, включая диоксид углерода, что подтверждает вышеупомянутые факты.

Существуют, однако, такие проекты, как COMTES700, MARCO700 по созданию стали HCM12 и сплава 617 для экранных труб. Ряд проектов, такие как Weisweiler, Esbjerg, нацелены на создание аустенитных сталей и сплавов на никелевой основе, способных работать при температуре пара 720 °С.

Вложение новейших конструкционных и функциональных материалов в стоимость перспективных отраслей составляют от 40 до 85%. Так, в США на НИОКР в области ресурсоэффективных материалов на протяжении последних 10 лет федеральное правительство выделяло более 1 млрд. долл. Ежегодные расходы частных фирм на эти цели составляют 5-6 млрд. долл.

Таким образом, даже краткий анализ современных достижений и проблем материаловедения и технологии производства конструкци-

онных материалов в области энергетики свидетельствует, что данная сфера находится в стадии революционных перемен и входит в число ключевых факторов ресурсоэффективных технологий.

Вне сомнения, данное обстоятельство должно стимулировать отечественные разработки в этом направлении.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001.
2. Hold J. Microstructure and long-term creep properties of 9–12 % Cr steels // Intern. J. Pressure Vessels and Piping. 2008. V. 85. P. 30–37.
3. Дуб А.В., Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А. Новые жаропрочные хромистые стали для перспективных объектов тепловой энергетики // Теплоэнергетика. 2008. № 7. С. 53–58.
4. Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А., Козлов П.А. Опыт создания и промышленного освоения жаропрочных сталей для перспективного паропроводного и котельного оборудования // Сб. докл. науч.-техн. конф. «Ресурс, надежность и безопасность теплосилового оборудования электростанций». – М.: ОАО «ВТИ», 2011. С. 21–26.
5. Резинских В.Ф., Пчелинцев А.В. Исследование служебных характеристик стали 10Х9В2МФБР-Ш // Теплоэнергетика. 2010. № 1. С. 31–36.
6. Моисеев А.А. Эксплуатация труб из аустенитных сталей на электростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/27.pdf>

Научный руководитель: А.И. Артамонцев, доцент, к.т.н, каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

### **СЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ТОПКЕ КОТЛОАГРЕГАТА С ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА ДЛЯ ДОЖИГАЮЩЕГО ТОПЛИВА**

М.С. Шерстобитов, Е.М. Резанов  
Омский государственный университет путей сообщения

Дожигающее топливо в мусоросжигательных котельных агрегатах применяется для повышения температуры горения с целью экологически безопасной утилизации твердых бытовых отходов. Затраты