

вода постоянно присутствует в зоне горения (в жидком виде) и в (7) следует подставлять $s_w = \bar{s}_w(1 - s_{wc})$.

Волны ВГ в режимах, близких к сверхвлажному, обладают пониженной тепловой устойчивостью, поскольку интенсивность тепловыделения с переходом к режиму с недогоранием топлива падает. Это происходит и в силу уменьшения количества потребляемого в реакции топлива, и как результат увеличения размера самой зоны горения, перерастающей иногда в довольно обширную область. В условиях порционной подачи, удовлетворяющей (7), (8), минимальное тепловыделение происходит в период от середины времени подачи порции воздуха до середины времени подачи порции воды (см. рис. 2).

Очаг горения при порционной подаче обладает практически такой же устойчивостью по отношению к усилению теплоотвода, как и при непрерывной подаче. Естественной границей такой устойчивости является величина порции воды. Ограничения сверху связаны с существованием для каждого уровня теплотерь критического времени t_c , в течение которого в зону горения не поступает окислитель (см. рис. 1). При переходе через эту границу окислитель очередной порции воздуха будет использоваться в зоне реакции не полностью.

Основные константы, используемые в расчетах: пластовое давление $p_0 = 16,0$ МПа; пористость пласта $m = 0,2$; проницаемость $k_0 = 0,5$ дарси; начальная нефтенасыщенность $s_{10} = 0,6$; масштаб $L = 50$ м; пластовая температура $T_0 = 300$ К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dietz D., Weijdem J. JPT, 1968, 20, 4, 411.
2. Богданов И. И. Хим. физика, 1984, 3, 5, 760.
3. Богданов И. И., Чудов Л. А. Численное исследование начальной стадии и развитых режимов внутрипластового горения.— Препринт № 227, ИПМ АН СССР, 1983.
4. Gottfried B. S. SPEJ, 1965, 5, 3, 196.
5. Баренблатт Г. И., Еитов В. М., Рыжик В. М. Движение жидкостей и газов в природных средах.— М.: Недра, 1984.
6. Важевский А. Е., Степанов В. П.— В кн.: Исследование методов повышения нефтеотдачи. Вып. 69.— М., 1979.

Поступила в редакцию 19/XI 1986,
после доработки — 28/IX 1987

О ВЛИЯНИИ ВИБРАЦИЙ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ УГЛЕГРАФИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Н. Голованов
(Томск)

Малые энергетические возмущения — вибрации поверхностей, акустические колебания, аэродинамические шумы — почти всегда сопровождают процессы горения и газификации углеграфитовых материалов [1, 2].

В данной работе экспериментально исследуется горение электрографита ЭГ-0 и углепластика П5-13 в струе воздушной низкотемпературной плазмы при наличии поперечных гармонических вибраций поверхности. Струя плазмы, генерируемая электродуговым плазмотроном ЭДП-104А/50, обтекала торцевую поверхность цилиндрических образцов из углеграфитовых материалов. Параметры струи: числа Рейнольдса $Re = 630$, Маха $M = 0,02$, среднемассовая температура $T_\infty = 3700$ К [3, 4]. При проведении экспериментов яркостная температура поверхности T измерялась быстродействующим фотоэлектрическим пирометром. Скорость горения $(\rho v)_w = dm/S(t)dt$ (m, S — текущие значения массы и площади поверхности) контролировалась взвешиванием образцов и непрерывно — с помощью тензодатчиков типа 2ПКБ. Вибрации поверхности образцов в на-

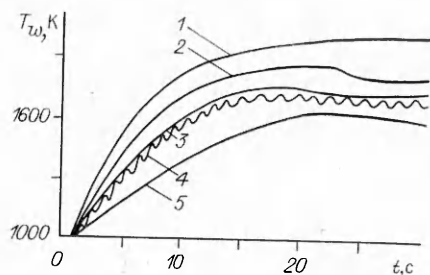


Рис. 1. Осциллограммы записи температуры поверхности образцов.

1, 3—5 — углепластик; 2 — электрографит;
 f , Гц: 1, 2 — 0, 3 — 10, 4 — 40, 5 — 70.

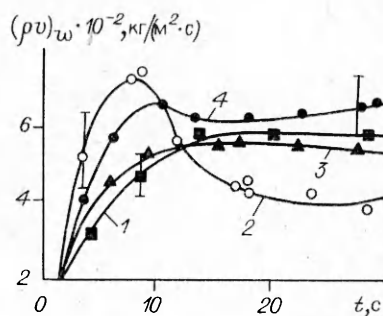


Рис. 2. Зависимости скорости горения образцов от времени. Обозначения см. на рис. 1.

правлении оси симметрии струи создавались специальным вибростендом, выполненным на основе электродвигателя с насаженным на ось эксцентрик. Амплитуда и частота вибраций регулировались силой тока в обмотке электродвигателя и геометрическим размером эксцентрика и варьировались в пределах $(0,5 \div 5,0) \cdot 10^{-3}$ м, 5—200 Гц. Суммарные погрешности определения температуры поверхности и скорости горения не превышали 7 и 9% соответственно.

На первом этапе экспериментального исследования сравнивались характеристики тепло- и массообмена известного углеграфитового материала ЭГ-0 и углепластика П5-13. На рис. 1 показаны осциллограммы записи температуры поверхности. Возрастание и убывание скорости горения образцов П5-13 (рис. 2) можно объяснить различными скоростями разложения связующего материала и каркаса углепластика. Визуальный осмотр структуры поверхности образцов после обжига в плазменной струе показал, что в интервале $t = 0 \div 15$ с происходит активное разрушение каркаса (сдиры и отслоения поверхности), а при $t = 15 \div 30$ с — интенсивный вдув высокомолекулярных продуктов разложения связующего материала.

Светлыми точками на рис. 3 показаны результаты, полученные в [5, 6] в условиях проведения экспериментов, близких к условиям данной работы, линия — расчет по формулам [6]

$$(\rho v)_w = \beta \frac{\alpha \varepsilon}{\alpha + \varepsilon} c_0, \quad \varepsilon = \frac{D}{d} Nu_s$$

$$Nu = \frac{0,70 \sqrt{Re}}{1 - \exp(-0,35 \sqrt{Re})}, \quad D = 0,18 \left(\frac{T_1}{T_\infty} \right)^2, \quad T_1 = \frac{T_w - T_\infty}{\ln(T_w/T_\infty)},$$

где α — коэффициент реакционного газообмена; $\beta = 2$; c_0 — концентрация реагента; D — коэффициент диффузии; Nu — число Нуссельта. Темными точками на рис. 3 обозначены данные настоящей работы для образцов из материала ЭГ-0. При сравнении с результатами [6] следует иметь в виду, что в ней исследовались образцы сферической формы из электродного угля, для которых процессы газификации с внешней поверхности более существенны из-за интенсивного прогрева образца во внутреннем объеме. Поэтому экспериментальные точки, полученные в данной работе, лежат ниже.

На втором этапе исследовалось влияние вибраций поверхности. Вибрационные колебания снижают температуру поверхности образцов из П5-13 в диапазоне изменения частот $f = 5 \div 75$ Гц (см. рис. 1). Для $f > 75$ Гц температура поверхности не изменялась и принимала значения, соответствующие рис. 1, 5. Для углеграфитового материала ЭГ-0 уменьшения T_w не отмечено. Падение температуры поверхности при наличии вибраций можно объяснить интенсификацией скорости горения (см. рис. 2, 3, 4). Продукты разложения связующего материала интен-

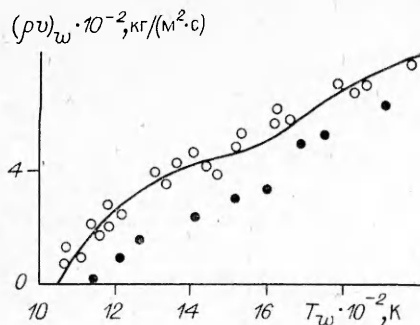


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных данных.

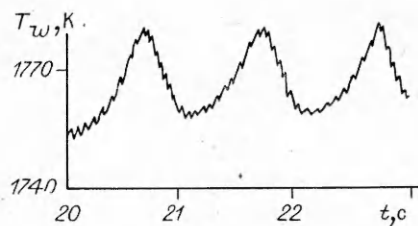


Рис. 4. Колебания температуры поверхности углепластика при вибрационном горении.

сивней охлаждают стенки каркаса, в результате чего значения T_w уменьшаются.

В области $f = 40 \div 65$ Гц на осциллограммах записи температуры поверхности наблюдаются колебания с частотой 1—1,5 Гц и амплитудой 25—30 К (см. рис. 1, 4). Амплитуда вибраций поверхности составляла $1 \cdot 10^{-3}$ м. Аналогичных режимов вибрационного горения на образцах из материала ЭГ-0 не обнаружено. По внешнему виду процесс вибрационного горения носит автоколебательный характер (рис. 4), колебания температуры поверхности возникают в начальные моменты времени ($t = 0,3 \div 0,7$ с) и не меняют частоты и амплитуды в последующем. Вариация амплитуды и частоты вибраций в диапазонах $(1-5) \cdot 10^{-3}$ м и 40—65 Гц не влияет на параметры колебательного процесса. Данное явление не связано с резонансными свойствами системы и с инструментальной погрешностью измерительного комплекса.

На рис. 4 видна высокочастотная составляющая колебаний температуры, которая обусловлена периодическим перемещением образца в плазменной струе при вибрациях поверхности. Следует отметить, что авторы работы [2] также наблюдали колебания цветовой температуры поверхности мелких угольных частиц при их горении в топке при $T \sim 2000$ К с $f = 1 \div 1,5$ Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Накоряков В. Е., Бурдуков А. П., Болдарев А. М. и др. Тепло- и массообмен в звуковом поле.— Новосибирск, 1970.
2. Канцельсон Б. Д., Мароне И. Я. Теплоэнергетика, 1964, 1, 11.
3. Гришин А. М., Абалтусов В. Е., Голованов А. Н. Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук, 1980, 3, 13, 64.
4. Абалтусов В. Е., Голованов А. Н., Альперт С. И. Газодинамика неравновесных процессов/Под ред. В. К. Баева.— Новосибирск, 1981.
5. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва.— М.: Изд-во МГУ, 1957.
6. Хитрин Л. Н., Головина Е. С. Исследования при высоких температурах/Под ред. В. А. Кириллина, А. Е. Шейдлина.— М.: Наука, 1967.

Поступила в редакцию 22/IX 1986,
после доработки — 6/III 1987

ПАРОФАЗНОЕ ГОРЕНИЕ И ТЕПЛОМАССОБМЕН ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА С ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

В. Н. Пушкин, Г. С. Сухов, Л. П. Ярин

(Ухта)

Парофазное горение твердых тел, оплавливающих в потоке газообразного окислителя, известно как технологический прием и как природное явление. В своем первом качестве оно проявляется в процессах газо-