

УДК 661.961.1

Зипунников Н.Н.

ТЕПЛОМАСООБМЕН ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СПЛАВА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ С ВОДОЙ

Опыты по изучению теплообмена проведены в металлическом реакторе ($V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$). Исследовалась интенсивность теплоотдачи от частиц сплава ФС 90 Ба4 (масс. %: Fe – 3,8, Si – 88,6, Ва – 4,0, Са – 1,5) к циркулирующему потоку.

Одновременно с записью температуры и давления в реакторе фиксируют время их изменения. Измерение температуры в реакторе выполняют с помощью термопары. В качестве вторичного прибора используют потенциометр КСП-4.

Оценку инерционности системы проводят следующим образом: в открытый сосуд с кипящей водой погружают спай термопары и начинают отсчет времени. Прибор отображает повышение температуры до 93 °С за 5 с, через 60–90 с устанавливается температура 99 °С. При погружении спая термопары в сосуд с маслом, нагретом до 180 °С, прибор через 5 с фиксирует 115 °С, через 55 с – 165 °С и через 180 с устанавливается температура 180 °С.

Давление в реакторе не превышает 0,93 МПа. Максимальная скорость выделения водорода при этом составила $W_{\max} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с})$ или $W_{\max} = 0,35 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (см. опыт №4 в таблице 1).

Данные по взаимодействию сплава ФС 90 Ба4 с водным раствором едкого натра представлены в таблице 1.

Характер изменения температуры среды реагирующего образца сплава ФС 90 Ба4 при исследовании реакции в реакторе представлен на рисунке 1.

Таблица 1– Зависимость скорости выделения водорода от температуры при взаимодействии сплава ФС 90 Ба4 с 13,3 %-ным раствором едкого натра, $m = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$

№№ опыта	Начальная температура среды, t_n , °С	Максимальная температура сплава, t_{\max} , °С	Время достижения максимальной температуры, $\tau \cdot 10^{-3}$, с	Максимальное давление, МПа, P_{\max}	Время достижения максимального давления, $\tau \cdot 10^{-3}$, с	Общее время реакции $\tau \cdot 10^{-3}$, с	Вес сплава, $m \cdot 10^3$, кг	Максимальная скорость выделения водорода, $W_{\max} \cdot 10^3$, $\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с})$
1	90*	100	0,54	0,44	2,94	2,94	5	0,18
2	120*	128	0,16	0,68	0,72	0,9	5	0,68
3	90	103	0,51	0,48	3	3	5	0,22
4	130	137	0,2	0,84	2,1	2,2	5	1,08
5	120	130	0,18	0,8	2,4	2,6	5	1,04

* – щелочь 10 %-ной конц.

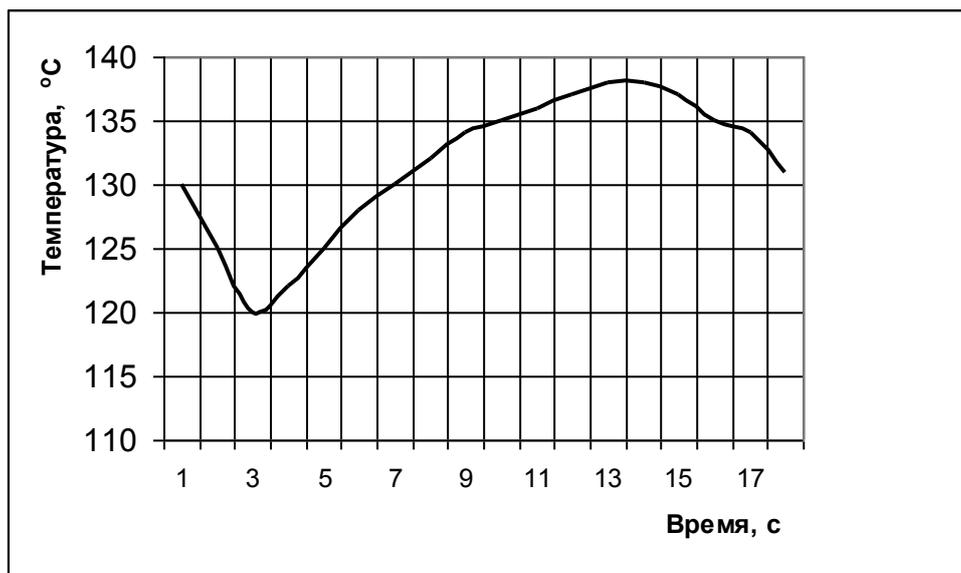


Рисунок 1 – Зависимость температуры от времени реакции сплава ФС 90 Ба4 с водой, $t_{н}=130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $m = 5 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$

При падении кассеты со сплавом в раствор температура среды в реакторе снижается на 8–10 °С. Индукционный период при этом составляет 3–5 с. Скачкообразное повышение температуры на 15–17 °С вызывает стремительный рост скорости реакции. Время прохождения всплеска температуры составило 10–12 с (см. рис. 1). На начальном этапе температура резко возрастает, затем темп роста замедляется, тем самым сказывается влияние образующегося оксидного слоя.

После прохождения скачка прибор показывает постепенное снижение температуры, что свидетельствует о завершении реакции в связи с полным разрушением частиц сплава.

Так на конечной стадии реакции за 6 с температура поднялась со 132 °С до 137 °С (рис. 1). Ввиду кратковременности существования тонкого реагирующего слоя и инерционности системы реальная величина температуры составляет 266 °С. Фактический скачок составил 134 °С. В пересчете на полупериод реакции (7,5 с) подъем температуры происходит от 100 °С до 194 °С, т.е. всплеск составляет 94 °С. Величина 194 °С является температурой насыщения при критическом давлении, зафиксированном в момент времени $\tau_{0,5}$.

Естественная циркуляция обеспечивает послойное взаимодействие частицы с омывающей ее жидкостью.

Скорость обтекания частицы равна приведенной скорости жидкости $v_{пр}$ в подъемном канале. Для нахождения $v_{пр}$ проводят оценку гидродинамики циркулирующего потока. Предельное значение скорости трехфазного потока равно местной скорости звука [1, 2]. При этом учитывают не только стехиометрические количества продуктов реакции, но и объем воды, испарившейся на реакционной поверхности и сконденсировавшейся в подъемном потоке. Приведенная скорость потока равна 2/3 от величины скорости истечения.

Найденное значение средней скорости позволяет уточнить количество поднимаемой газлифтом жидкости по зависимости [3, 4]

$$(1-\varphi) = \frac{0,01\mu_{ж}^{0,3} + 0,14}{d^{0,34} \cdot v_{г.пр}^{0,48}}, \quad (1)$$

где φ – газосодержание, $\mu_{ж}$ – вязкость жидкости, МПа·с; d – диаметр подъемного канала, м; $v_{г.пр}$ – приведенная скорость течения газа, м/с.

Предварительно, путем использования данных [3] установлено, что правую часть необходимо умножить на коэффициент k_3 , изменяющийся в пределах 0,292–0,753. Снижение k_3 наблюдается при уменьшении диаметра подъемного канала, который принят равным сумме диаметров частицы и двух пузырьков. Для рассматриваемых нами условий $k_3 = 0,333$.

Значение приведенной скорости жидкости, найденное по разработанной методике, находится в пределах 1,77–2,26 м/с. Числа Рейнольдса изменяются от 110000 до 160000. Поскольку коэффициент лобового сопротивления $k_{лс}$ в указанном интервале возрастает следует ожидать увеличения безразмерного коэффициента теплоотдачи с ростом чисел Рейнольдса [5].

Обработка экспериментальных данных проведена по известным зависимостям [6–9]. Расчеты выполнены на момент равный полупериоду реакции ($\alpha_r = 0,5$). Результаты представлены на рисунках 2–3.

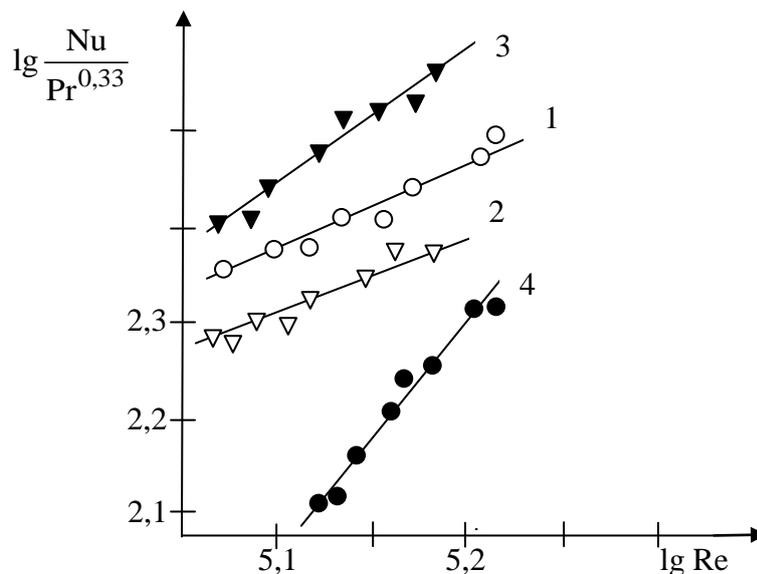


Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов теплоотдачи одиночной сферической частицы сплава ФС 90 Ба4 от числа Re подъемного потока для уравнений:

- 1 – $Nu = 2 + 0,51 Re^{0,52} Pr^{0,33}$ [8];
- 2 – $Nu = 2 + 0,6 Re^{0,5} Pr^{0,33}$ [9];
- 3 – $Nu = 1,85 \cdot 10^{-6} Re^{1,6} Pr^{0,33}$ [10];
- 4 – $Nu = 0,9 \cdot 10^{-7} Re^{1,8} Pr^{0,33}$ (автор)

Оказалось, что наименьшее отклонение дает формула Кунии [7], а наибольшие – формула Кацнельсона-Тимофеевой [6]. В упомянутых работах степень влияния чисел Рейнольдса находится в пределах 0,5–0,58. Для активированного алюминия АГ505И5 (масс. %: Al – 85, Ga – 5, Sn – 5, In – 5) степень влияния числа Рейнольдса составила 1,6 [10].

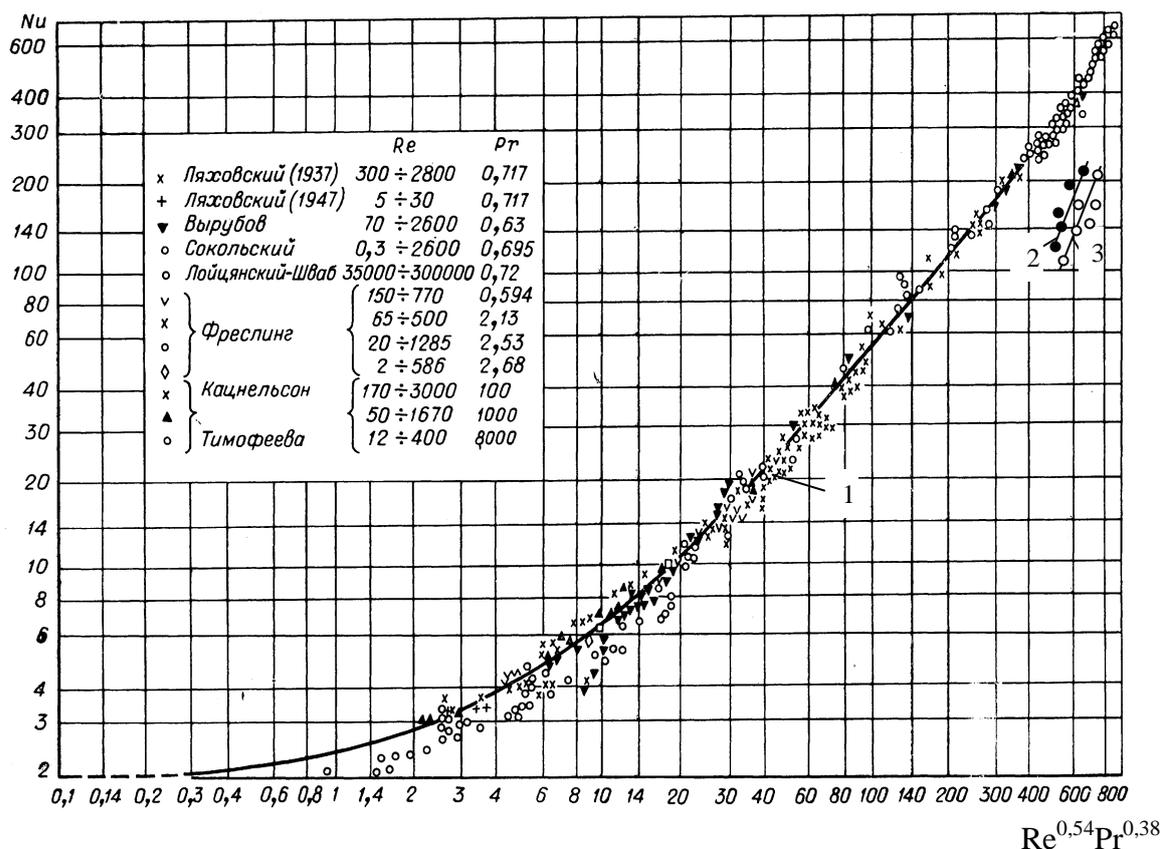


Рисунок 3 – Опытные данные по теплоотдаче одиночной сферической частицы:

$$1 - Nu = 2 + 0,03 Re^{0,54} Pr^{0,33} + 0,35 Re^{0,58} Pr^{0,35} [5];$$

$$2 - Nu = 1,85 \cdot 10^{-6} Re^{1,6} Pr^{0,33} [8];$$

$$3 - Nu = 0,9 \cdot 10^{-7} Re^{1,8} Pr^{0,33} \text{ (автор)}$$

При омывании реагирующей частицы обнаружено более существенное влияние критерия Рейнольдса

$$Nu = 0,9 \cdot 10^{-7} Re^{1,8} Pr^{0,33}. \tag{2}$$

Отклонение расчетных значений критерия Нуссельта от экспериментальных не превышает $\pm 13,5\%$.

С ростом скорости омывания возрастает паро- и газообразование, что сопровождается турбулизацией пограничного слоя.

Ближкие условия тепломассообмена наблюдаются при испарении воды в собственные перегретые пары [11].

Таким образом, в условиях гетерогенной системы предельное значение скорости химической реакции определяется интенсивностью теплоотдачи при естественной циркуляции [12].

Процесс протекает в условиях сопряжения основной экзотермической реакции с параллельной эндотермической (вскипание воды) при небольших температурных напорах, т. е. в условиях близких к равновесию. В данном случае обеспечиваются низкие скорости течения 3-х фазного потока и, следовательно, затраты на трение ничтожны. В работе [13] показано, что КПД вскипающей системы не превышает 0,25 %, т.е. всего четвертая часть процента передаваемого тепла переходит в механическую энергию

движущегося потока. В исследованном нами процессе в энергию циркулирующего потока преобразуются сотые доли процента энергии химической реакции. При учете трения находят предельно возможную скорость течения и тем самым более точно оценивают кинетическую энергию в общем балансе. Последнее обстоятельство дает возможность получить более достоверные коэффициенты теплоотдачи.

Литература

1. Ястржембский А.С. Техническая термодинамика. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 495 с.
2. Соколов Е.Я., Зингер А.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 351 с.
3. Пороло Л.В. Воздушные газовые подъемники жидкости (эргазлифты). – М.: Машиностроение, 1969. – 160 с.
4. Акопян Б.А. Разработка методики расчета режимов работы периодического газлифта: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИНГ, 1989. – 24 с.
5. Идельчик И.Е. Некоторые интересные эффекты и парадоксы в аэродинамике и гидравлике. – М.: Машиностроение, 1982. – 96 с.
6. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Новосибирск: Наука, 1970. – 660 с.
7. Кунии Д., Левеншпиль О. Промышленное псевдооживление. – М.: Химия, 1976. – 448 с.
8. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
9. Солодов А.П. и др. Практикум по теплопередаче. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 296 с.
10. Трошенькин В.Б. Теплообмен при взаимодействии активированного алюминия с водой. Сб. научн. тр.: Вестник Харьк. политехн. ун-та, 1999. – Вып. 49. с. 14–18.
11. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
12. Трошенькин В.Б. Метод расчета реакторов для производства водорода из воды и с помощью сплавов кремния и алюминия // Экология химической техники и биотехнологии. Юбил. сб. тр. каф. ХТПЭ. – Харьков: ХГПУ, 1996. – 1. – С. 107–111.
13. Трошенькин Б.А. Циркуляционные и пленочные испарители и водородные реакторы. – Киев: Наук. думка, 1985. – 174 с.
14. Трошенькин Б.А. Теплообмен при выделении водорода в реакциях алюмокремниевых сплавов с водой // Теплообмен – ММФ-92. Теплообмен в химически реагирующих системах. – Минск: ИТМО АНБ, 1992. – 3. – С. 89–92.
15. Эйринг Г., Лиин С.Г., Лин С.М. Основы химической кинетики: Пер. с англ. Е.Л. Розенберга под ред. А.М Бродского. – М.: Мир, 1983. – 528 с.

УДК 661.961.1

Зіпунніков М.М.

ТЕПЛОМАСООБМІН ПРИ ВЗАЄМОДІЇ СПЛАВУ НА ОСНОВІ КРЕМНІЮ З ВОДОЮ

У даній роботі досліджено теплообмін між сплавом феросиліцію з добавками барію і розчином їдкою натру за умов хімічної взаємодії головних елементів сплаву. Вивчено характер змін температур у ході реакції. Коефіцієнти тепловіддачі узагальнені у виді критеріальної залежності. Установлено значний вплив числа Re рідини у підйомному потоці.