

04;10
©1994

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАЛЕНИЯ ОКИСЛОВ СЕРЫ ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Д.Л.Кузнецов, Г.А.Месяц, Ю.Н.Новоселов

Удаление окислов серы из ионизованных с помощью электронного пучка дымовых газов (ДГ) тепловых электростанций осуществляется в реакциях окисления SO_2 до серной кислоты H_2SO_4 . Исследования этого процесса ведутся как с применением непрерывных (см., например, [1]), так и импульсных электронных пучков [2,3]. В [3] показано, что эффективное удаление окислов серы из ДГ возможно при оптимальной плотности тока пучка $10^{-3} - 10^{-2} \text{ А/см}^2$, которая достаточно просто реализуется в импульсных ускорителях электронов. При этом энергетические затраты ϵ на удаление одной токсичной молекулы составляют величину, меньшую 1 эВ/мол, тогда как для непрерывных пучков $\epsilon \sim 8 - 15 \text{ эВ/мол}$.

Величина ϵ определяется как отношение энергии, вложенной в газ электронным пучком, к количеству удаленных из него молекул SO_2 . Энергия, поглощенная газом, зависит не только от энергии электронов и плотности тока пучка, но и от длительности применяемого импульса. В настоящем сообщении приведены результаты экспериментов по удалению окислов серы из модельной смеси микросекундными пучками электронов различной длительности.

Исследования проводились на установке, подробно описанной в [4]. Объем облучаемой смеси составлял 170 литров, облучение осуществлялось радиально расходящимся пучком, формируемым в ускорителе с плазменным катодом и энергией электронов 300–250 кэВ. Сечение пучка при выводе в атмосферу было равно 1.4 м^2 . Осциллограммы импульсов тока пучка, выведенного в атмосферу, приведены на рисунке. Изменение длительности импульсов тока осуществлялось путем регулирования зарядного напряжения искусственных формирующих линий, обеспечивающих питание дугового разряда в эмиттере ускорителя. В используемом ускорителе имелась возможность регулировать длительность импульсов тока пучка при неизменном максимальном значении амплитуды от 48 до 80 мкс на полувывоте. Облучение газа осуществлялось серией из 190

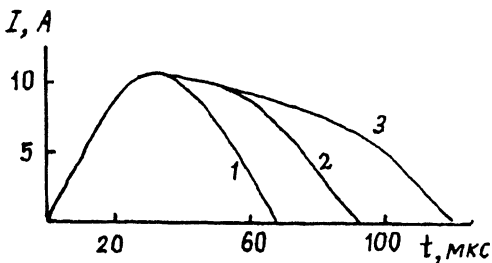


Рис. 1. Осциллограммы импульсов тока электронного пучка, выведенного в атмосферу. 1 — $\tau_{0.5} = 48$, 2 — 66, 3 — 80 мкс.

импульсов. Контроль содержания SO_2 в смеси производился через 20–30 импульсов с помощью кондуктометрического метода. Для исключения влияния химических реакций в каплях воды исследовались смеси с малым содержанием H_2O . Ниже приведены результаты для модельной смеси $\text{N}_2:\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}:\text{SO}_2 = 88.5:10:0.5:1$.

Было выполнено несколько опытов в идентичных условиях по определению зависимостей степени очистки η от длительности импульса и соответственно от энергии, поглощенной в газе. Разброс результатов от опыта к опыту не превышал 20%. Наиболее высокая степень очистки в серии из 190 импульсов наблюдалась при длительности тока пучка $\tau_{0.5} = 48$ мкс. Она составляла 10–12%. При увеличении длительности импульса до $\tau_{0.5} = 80$ мкс значение η практически не изменялось, однако энергия пучка, поглощенная в газе, увеличивалась почти вдвое. Это свидетельствует об ухудшении энергетических характеристик процесса удаления SO_2 , в частности, затрат энергии на удаление одной молекулы.

Величина ε определялась как $\varepsilon = j\tau Dn / e[\Delta\text{SO}_2]$, где j — плотность тока, τ — длительность импульса, D — доза поглощающей газом энергии, n — число импульсов в серии облучения, $[\Delta\text{SO}_2]$ — изменение концентрации SO_2 за серию импульсов облучения. Произведение $j\tau$ определялось интегрированием осциллограмм импульсов тока пучка. Величина D измерялась экспериментально с помощью пленочных дозиметров по стандартной методике.

Зависимость ε от длительности импульса тока пучка представлена на рис. 2 в виде заштрихованной области. Отсутствие в исследуемой смеси достаточного количества паров воды приводит к высоким значениям ε , однако при малой длительности импульса эти значения близки к наблюдаемым ранее [3]. Увеличение $\tau_{0.5}$ приводит к значительному возрастанию ε , при длительности импульса 80 мкс и более энергетические затраты составляют величину, близкую к получаемой в экспериментах с непрерывными пучками.

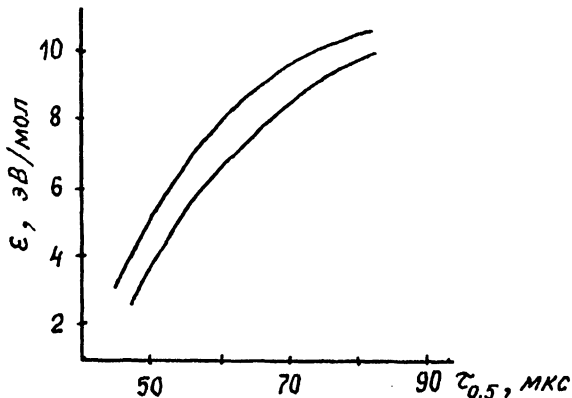


Рис. 2. Зависимость затрат энергии на удаление одной молекулы SO_2 от длительности импульса электронного пучка.

Полученные результаты не поддаются интерпретации в рамках модели, привлекаемой для объяснения результатов с непрерывными пучками [5]. Согласно этой модели, электроны пучка генерируют в газе свободные радикалы O , OH , H_2O , которые приводят к окислению SO_2 , до H_2SO_4 . Увеличение вкладываемой пучком энергии по этой модели должно приводить к росту концентрации радикалов и как следствие — к увеличению степени очистки. При этом значение ϵ остается постоянным.

В наших экспериментах использовался электронный пучок с плотностью тока, близкой к 10^{-3} А/см², что на несколько порядков выше, чем реализуемые в непрерывных ускорителях. В этом случае процессы окисления SO_2 осуществляются по цепному механизму [2,3], основным звеном которого является образование в ДГ отрицательных ионов кислорода. Реакции с их участием приводят к образованию ионов SO_3 , которые при взаимодействии с водой образуют кислоту H_2SO_4 и свободный электрон. Последний вновь может образовать отрицательный ион O_2^- , замкнув цепь плазмохимических реакций. Это полезный с точки зрения удаления SO_2 канал реакций ионов O_2^- . Однако эти ионы могут вступать и в другие реакции, в частности, ион-ионной рекомбинации с положительными ионами азота N_2^+ . Этот канал приводит к безвозвратной гибели ионов O_2^- . Простые оценки показывают, что в условиях наших экспериментов характерное время ион-ионной рекомбинации составляет 10–20 мкс. При использовании пучков большей длительности возрастают непродуктивные потери ионов O_2^- ,

что приводит к снижению вероятности возникновения цепной реакции окисления SO_2 и возрастанию затрат энергии на удаление одной молекулы.

Определение оптимальной длительности импульса электронного пучка является предметом дальнейших исследований.

Список литературы

- [1] *Proc. VI Int. Meeting of Radiation Processing. In.: Rad. Phys. Chem. 1988. V. 31. N 1-3. P. 1-331.*
- [2] *Баранчиков Е.И., Беленький Г.С., Деминский М.А. и др. // ХВЭ. 1991. Т. 25. В. 5. С. 460-465.*
- [3] *Игнатъев А.В., Кузнецов Д.Л., Месяц Г.А., Новоселов Ю.Н. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 22. С. 53-56.*
- [4] *Ефремов А.М., Ковальчук Б.М., Толкачев В.С., Шанин П.М. // ПТЭ. 1987. В. 1. С. 99-101.*
- [5] *Person J.C., Ham O.O. // Rad. Phys. Chem. 1988. V. 31. N 1-3. P. 1-8.*

Институт электрофизики
Уральское отделение
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
22 января 1994 г.