

примерно при тех же величинах  $\alpha_m$ , что и  $t_b$ . Вместе с тем минимум  $t_b^+$  выражен более слабо, что вызвано ослаблением зависимости  $t_b^+(\alpha)$  в области больших значений  $\alpha$  ( $\alpha > \alpha_m$ ). Такой вид кривой  $t_b^+(\alpha)$  объясняется тем, что увеличение  $t_b(\alpha)$  компенсируется уменьшением  $t_3(\alpha)$ . В области относительно слабого теплового воздействия ( $\alpha < \alpha_m$ ) влияние  $\alpha$  и  $q$  на  $t_b^+$  существенно сильнее, чем на  $t_b$ , благодаря зависимости  $t_3(\alpha)$ .

Таким образом, из полученных результатов следует важный в практическом отношении вывод: интенсификация нагрева топлива по сравнению с оптимальным не приводит к существенному изменению времени всего процесса установления стационарного горения. Однако ослабление нагрева может привести к значительному увеличению длительности процесса, а также росту амплитуды отклонения скорости горения от стационарной величины.

Авторы приносят благодарность В. Н. Вилюнову и Б. Н. Кондрикову за полезное обсуждение и содействие работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, М. А. Ривин, Д. А. Франк-Каменецкий. Импульс реактивной силы. М.: Оборонгиз, 1963.
2. В. И. Вилюнов. Теория зажигания конденсированных веществ. Новосибирск: Наука, 1984.
3. И. Г. Ассовский, З. Г. Закиров, О. И. Лейпунский. Хим. физика, 1985, 4, 10.
4. И. Г. Ассовский, А. Г. Истратов. ПМТФ, 1971, 5, 70.
5. И. Г. Ассовский, З. Г. Закиров, О. И. Лейпунский. ФГВ, 1983, 19, 1, 41.
6. В. Ф. Михеев. Канд. дис. Новосибирск, ИХКИГ СО АН СССР, 1970.
7. Б. И. Кондриков, Т. Дж. Олемиллер, М. Саммерфилд.— В кн.: Вопросы теории взрывчатых веществ. М.: МХТИ, 1974.
8. К. Г. Шкадинский. ФГВ, 1971, 7, 3, 332.
9. В. В. Марченко, О. Я. Романов, Г. Г. Шелухин. ФГВ, 1975, 11, 4, 519.
10. И. Г. Ассовский, О. И. Лейпунский. ФГВ, 1980, 16, 1, 3.
11. И. Г. Ассовский, З. Г. Закиров, О. И. Лейпунский. I Всесоюз. симп. по макрокинетике и химической гидродинамике. Т. I, ч. 1. Черногоровка, 1984.
12. Б. В. Лидский, Б. В. Новожилов, А. Г. Попов. Хим. физика, 1985, 4, 5, 721.

Поступила в редакцию 4/VII 1985,  
после доработки — 19/XI 1985

### ОСОБЕННОСТИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НЕПРЕРЫВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

С. Г. Бычков, А. В. Десятков, А. А. Бикетов,  
Г. И. Ксандопуло, Г. С. Минажаева  
(Алма-Ата)

Использование лазера при исследовании нерезонансного взаимодействия оптического излучения с веществом позволяет достичь высоких плотностей подводимой энергии (свыше  $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) и, как следствие, скоростей нагрева поверхности до  $10^5$  К/с [1, 2]. Это определенным образом стимулирует работы по инициированию воспламенения горючих материалов лазерным излучением [3—6]. Однако при инициировании воспламенения полимерных материалов таким способом, особенно терморезистивных, необходима оценка роли коксового остатка, способного выступать в качестве очага воспламенения.

Особый интерес в этом отношении представляет изучение модифицированных огнестойких полимеров с твердофазным действием ингибитора, изменяющего структуру и свойства кокса. С этой целью проведены опыты по воздействию непрерывного лазерного излучения на эпоксидную смолу ЭД-20, которую отвердили метафенилендиамном, содержащую соединения ванадия ( $V_2O_5$  и  $VCl_3$ ) — эффективные ингибиторы горения.

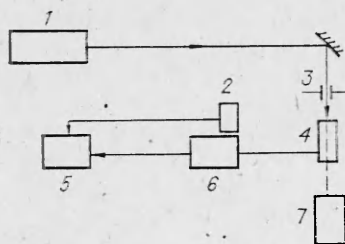
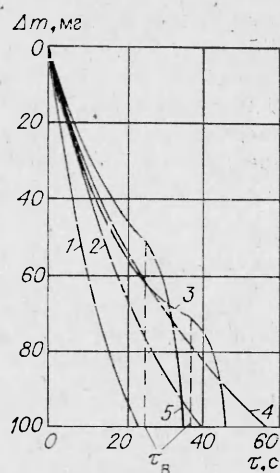


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Рис. 2. Зависимость потери массы от времени облучения.

1 — ЭД-20; 2 — ЭД-20+3% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 3 — ЭД-20 + 3% VCl<sub>3</sub>;  
4 — ЭД-20 + 10% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 5 — ЭД-20 + 10% VCl<sub>3</sub>.



Следует отметить, что механизм действия этих добавок сводится к ускорению процессов дегидрирования и дегидратации, в результате чего значительно увеличивается выход кокса. Величина коксового остатка возрастает с 8,9% у ЭД-20 до 18% у ЭД-20 + 10% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 17,2% у ЭД-20 + 10% VCl<sub>3</sub> (здесь приведено массовое содержание добавок). Кислородный индекс для указанных составов равен 23,4, 30,3 и 30,5 соответственно [7].

Исследования проводили на экспериментальной установке (рис. 1). Источником излучения являлся непрерывный СО<sub>2</sub>-лазер типа ЛГ-43 I с длиной волны излучения 10,6 мкм. Лазер работал в режиме ТЕМ<sub>00</sub>. Мощность излучения оценивали калориметрическим измерителем ИМО-22 7. На поверхность материала излучение после отражения от медного зеркала падало под прямым углом. Образцы 4 имели вид стержней, используемых при испытании на горючесть (диаметр 8 и длина 15 мм), и располагались вертикально. Для избежания краевых эффектов излучение лазера ограничивалось диафрагмой 3 до диаметра 4 мм. При помощи держателя образцы крепились на измерительном рычаге механотронного преобразователя 6МХЗС 6, являющегося маломощным регистратором потери массы. Динамику убыли массы фиксировали на лепте пишущего прибора 5. Запись прекращали по достижению заданной глубины превращения — 100 мг. Момент появления открытого пламени на поверхности образца регистрировали фотоэлементом ФЭС 2, электрический сигнал с которого поступает на самописец. Исследования проводили в атмосфере воздуха.

На рис. 2 приведены зависимости потери массы от времени облучения при средней плотности мощности 50 Вт/см<sup>2</sup>. Видно, что во всех случаях убыль массы начинается с момента воздействия излучения. Это связано с существенной неоднородностью распределения энергии, а следовательно, и температуры, по пятну облучения вследствие гауссовой структуры лазерного луча. В центре пятна температура, при которой происходит активная деструкция полимера, достигается практически мгновенно. Присутствие соединений ванадия уже в количестве 3% заметно уменьшает скорость потери массы по сравнению с исходным полимером. Причем VCl<sub>3</sub> более эффективно замедляет процесс деструкции, нежели V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Появление открытого пламени наблюдается только у композиции, содержащей VCl<sub>3</sub>. Увеличение содержания добавок до 10% приводит к дальнейшему торможению процесса разложения, но по-прежнему воспламенение характерно для состава с VCl<sub>3</sub>. Индукционный период воспламенения с ростом концентрации VCl<sub>3</sub> несколько уменьшается. Резкое повышение скорости уноса массы после появления пламени на поверхности образца, фиксируемое в обоих случаях, обусловлено дополнительным энергоподводом из зоны горения. В дополнительных опытах установлено, что увеличение времени воздействия вплоть до полного про-

горения образца, не приводит к воспламенению ни ЭД-20, ни ЭД-20 + 10%  $V_2O_4$ . Способность композиции, содержащей  $VCl_3$ , к воспламенению может быть объяснена высокой плотностью коксового остатка ( $1,59 \text{ г/см}^3$  при добавке 10%, в то время как при добавке  $V_2O_4$  в том же количестве она составляет лишь  $1,16 \text{ г/см}^3$ , хотя выход кокса в первом случае даже несколько меньше [7]).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Миркин. Физические основы обработки материалов лучами лазера. М.: Изд-во МГУ, 1975.
2. Дж. Реди. Промышленные применения лазеров. М.: Мир, 1982.
3. Л. Г. Страковский, Е. И. Фролов. ФГВ, 1980, 16, 5, 140.
4. Л. Г. Страковский, П. И. Уляков, Е. И. Фролов. ФГВ, 1980, 16, 6, 59.
5. Л. Г. Страковский. ФГВ, 1985, 21, 1, 41.
6. А. Э. Аверсон, М. В. Алексеев, В. П. Борисов и др. ФГВ, 1985, 21, 1, 61.
7. Р. М. Мансурова, Р. Г. Абдулкаримова, Б. Я. Колесников и др.— В кн.: Межвузовский сборник научных трудов. Химия и технология элементоорганических продуктов и полимеров. Волгоград, 1981.

Поступила в редакцию 24/VI 1985

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ САМОРАЗОГРЕВА ПЛАМЕНИ ВОДОРОДА С КИСЛОРОДОМ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Г. А. Арутюнян, Г. А. Мартоян, В. М. Бейбутян,  
К. В. Акопян  
(Ереван)

Одна из важных задач при изучении механизма горения состоит в определении роли и вклада тепловых факторов в общих кинетических закономерностях процесса. Отсутствие надежных данных по температуре реагирующей смеси принципиально затрудняет определение основных характеристик и параметров разветвленно-цепного процесса.

Для экспериментального установления величины саморазогрева пламени опыты обычно проводят в струевых условиях. При этом стабилизация горения обеспечивает стационарность температурных профилей, и для определения саморазогрева часто бывает достаточно помещать в пламя подвижную, соответствующим образом защищенную от рекомбинационных эффектов термпару или же нить сопротивления [1—4]. Однако в ряде случаев (при выявлении роли гетерогенных факторов, определении температурного режима осциллирующих пламен, решении прикладных задач) целесообразнее проводить эксперимент в статических условиях или же в режиме распространения пламени [4—9].

Регистрация температуры быстропротекающего процесса воспламенения из-за инерционности контактных датчиков температуры связана со значительными трудностями. Для их преодоления в [10] предложен способ определения саморазогрева пламени  $H_2$  с  $O_2$  измерением изменения давления реагирующей смеси по ходу реакции. Полученные величины саморазогрева оказались более чем на порядок меньше рассчитанных на ЭВМ [11]. В ряде работ (см., например, [12, 13]) полученные с помощью ЭВМ величины саморазогрева служат основой для обсуждения механизма горения  $H_2$  с  $O_2$ . Причиной расхождения расчетных и экспериментальных данных в модельном разветвленно-цепном процессе горения  $H_2$  с  $O_2$  является, как указано [10], наличие тепло- и массообмена между объемом коммуникаций вакуумной установки, в котором газ имеет комнатную температуру, и реактором, находящимся при температуре опыта.

В настоящей работе поставлена цель количественно определить вклад процессов теплообмена в закономерностях горения гремучей смеси при