

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ПОГАСАНИЯ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА

УДК 536.46

М. В. Алексеев, И. Г. Фатеев*

Сургутский государственный университет, 626400 Сургут

* Тюменская государственная архитектурно-строительная академия,
625001 Тюмень

Приведены результаты экспериментального исследования воспламенения и погасания полиметилметакрилата под действием лазерного излучения с плотностью потока $q = 200-1000$ Вт/см². Показано, что при потоках лазерного излучения $q > 220$ Вт/см² воспламенение происходит в газовой фазе в центре переднего фронта кольцевого вихря на достаточном удалении от поверхности образца. При $q \leq 220$ Вт/см² воспламенение происходит одновременно в двух местах над поверхностью. Воздействие лазерного излучения при $q > 220$ Вт/см² на полиметилметакрилат после воспламенения в газовой фазе при комнатной температуре и атмосферном давлении воздуха не приводит к выходу на стационарный режим горения, всегда наблюдается погасание.

Воздействие мощного импульса лазерного излучения на полимеры приводит к их интенсивной газификации и образованию кольцевого вихря [1], аналогично тому, как это происходит при взрыве взрывчатых веществ или выталкивании порции газа из трубы круглого сечения [2]. Эксперименты показывают, что при увеличении длительности импульса излучения лазера, воздействующего на полимеры, в некоторых случаях, в частности для полиметилметакрилата (ПММА), воспламенение продуктов газификации происходит на значительном расстоянии от поверхности, в воздушной среде. В работах [3, 4] показано, что при зажигании конденсированных веществ, способных самостоятельно гореть при отсутствии окислителя в окружающей среде, мощными потоками лазерного излучения ($q = 220 \div 600$ Вт/см²) вспышка в воздухе возникает на удалении от поверхности. При этом в силу ряда причин (резкое отключение мощного внешнего теплоподвода, время его действия и т. д.) вспышка в газовой фазе не является достаточным условием для устойчивого зажигания, т. е. для выхода на устойчивый режим горения [5].

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию (с помощью скоростной киносъемки) процессов в газовой фазе при воспламенении и погасании ПММА под действием мощного импульса лазерного излучения.

Экспериментальная установка в основном описана в [1]. В данной работе для воспламенения ПММА использовали лазер с длиной волны излучения 10,6 мкм, мощность которого контролировали измерителем ИМО-2. Электромеханический затвор с разрешением 0,2 мс позволял формировать почти прямоугольный импульс инфракрасного лазерного излучения, так как его длительность во всех опытах по воспламенению была больше или равна 40 мс. Диаметр d пятна облучения образца изменялся от 2 до 4 мм, и плотность потока q составляла 200–1000 Вт/см². Момент начала газификации t_g определяли по появлению

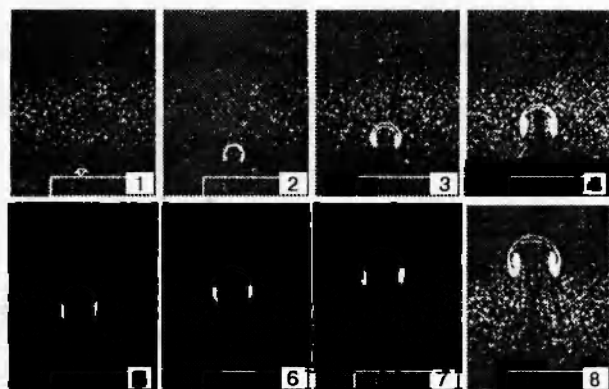


Рис. 1

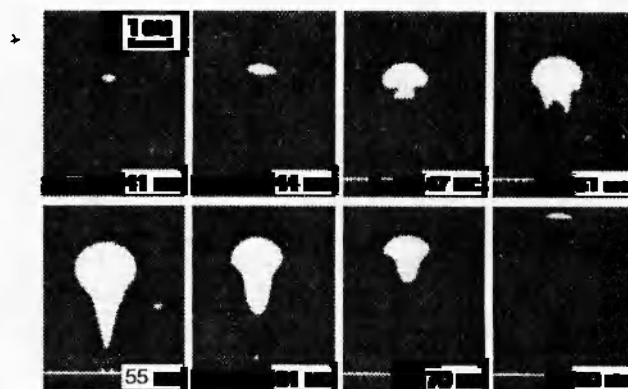


Рис. 2

Рис. 1. Образование кольцевого вихря

Рис. 2. Воспламенение и погасание ПММА под действием импульса лазерного излучения при $q = 1000 \text{ Вт/см}^2$

над поверхностью продуктов газификации, визуализируемых методом лазерного ножа [6], а момент воспламенения τ фиксировали по появлению в газовой фазе вспышки, регистрируемой прямой скоростной киносъемкой.

На рис. 1 представлена полученная методом лазерного ножа кинограмма образования кольцевого вихря из продуктов газификации ПММА при $q = 1000 \text{ Вт/см}^2$ и длительности $t < \tau$. На каждом кадре зафиксировано два момента, соответствующих стробоимпульсам лазерного ножа. Треки микрочастиц взвеси окиси магния свидетельствуют о втягивании в кольцевой вихрь газов из окружающей среды. Следовательно, в кольцевом вихре происходит смешение реагентов: продуктов газификации ПММА и кислорода, содержащегося в воздухе.

Увеличивая значение t , можно добиться воспламенения перемешанных реагентов. Отдельные последовательные кадры из скоростного кинофильма, полученного прямой съемкой при $q = 1000 \text{ Вт/см}^2$ и $t = 40 \text{ мс}$, приведены на рис. 2. Видно, что момент воспламенения совпадает с окончанием импульса лазерного излучения и вспышка в газе возникает в центре переднего фронта кольцевого вихря на значительном удалении z от поверхности образца ($z/d \approx 13$). От образовавшегося очага вспышки фронт пламени распространяется сначала по кольцевому вихрю, затем — в направлении луча лазера к поверхности образца. При этом размер горящего объема вихря продолжает расти и его передний фронт удаляется от поверхности образца за счет сил инерции и сил Архимеда. Увеличение горящего объема в газовой фазе продолжается в течение времени, равного $0,4\tau$, затем начинается процесс погасания. Весь процесс от воспламенения до погасания длится $\sim 2,3\tau$, если $t \approx \tau$. Передержка потока лазерного излучения $\Delta t = t - \tau$ для ПММА не приводит к выходу на установившийся режим горения. Для всех $\Delta t \leq 2\tau$ процесс погасания при постоянной плотности потока лазерного излучения начинается сразу после его отключения. Например, при $q = 1000 \text{ Вт/см}^2$ это время равно $0,4\tau$. По-видимому, это и есть характерное время, необходимое для завершения процесса газификации образца в данных условиях.

Зависимости времени воспламенения ПММА и момента начала газификации от плот-

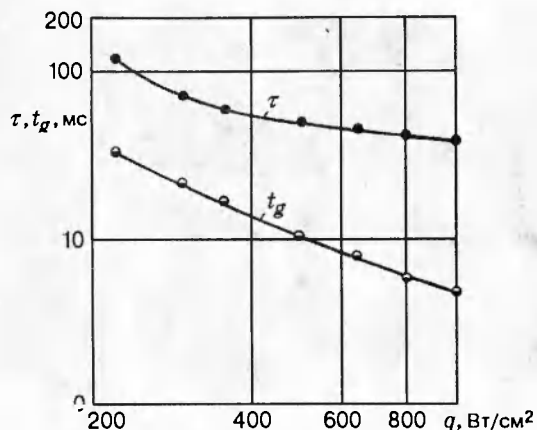


Рис. 3

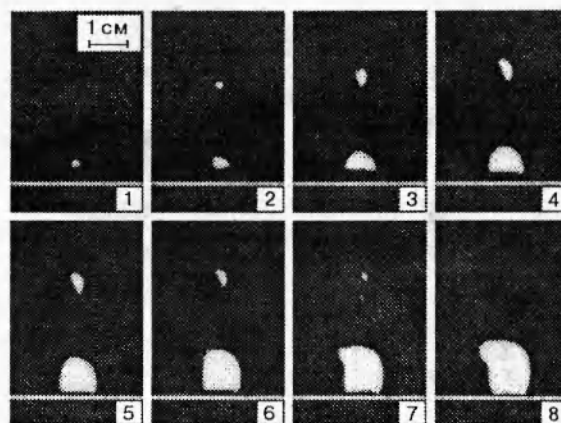


Рис. 4

Рис. 3. Зависимости момента начала газификации (t_g) и времени воспламенения ПММА (τ) от плотности потока лазерного излучения

Рис. 4. Воспламенение ПММА импульсом лазерного излучения при $q = 220$ Вт/см²

ности потока лазерного излучения представлены на рис. 3. Эти величины монотонно уменьшаются с ростом q . Однако при $q = 220$ Вт/см² время воспламенения в 5 раз превышает время появления продуктов газификации, а при $q = 1000$ Вт/см² — в 8 раз.

Возможно, различие значений τ/t_g для разных q связано с местом возникновения вспышки. При $q \leq 220$ Вт/см² яркое свечение в газовой фазе появляется почти одновременно вблизи поверхности и на достаточном удалении от нее (рис. 4, кадры следуют слева направо через 1,3 мс, $\tau = 160$ мс). Удаленный от поверхности очаг пламени достаточно быстро исчезает. Причиной, скорее всего, является израсходование перемешанных реагентов. В то же время объем пламени вблизи поверхности образца увеличивается, а восьмой кадр на рисунке показывает, что пламя достигает поверхности ПММА. На рис. 4 приведены кадры киносъемки только начальной стадии воспламенения. В данных условиях отключение лазерного излучения независимо от длительности передержки не приводит к выходу на устойчивый режим горения (происходит погасание). Пламя отрывается от поверхности и уносится вверх, как показано на рис. 2.

При $q > 220$ Вт/см² и $t \geq \tau$ вспышка в газовой фазе возникает только на достаточном удалении от поверхности образца, в центре переднего фронта кольцевого вихря. Вероятно, в этом случае успевает образоваться достаточно устойчивый кольцевой вихрь. Как известно [2], завихренность кольцевого вихря зависит от начальной скорости газа, в данном случае — продуктов газификации. В свою очередь, скорость оттока продуктов газификации ПММА существенно зависит от плотности потока лазерного излучения и составляет $\sim 0,2$ и $0,75$ м/с при $q = 220$ и 1000 Вт/см² соответственно.

В заключение авторы выражают благодарность А. Э. Аверсону и В. П. Борисову за помощь в работе и ряд ценных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверсон А. Э., Алексеев М. В., Борисов В. П. Вихреобразование при воздействии лазерного излучения на полимеры // ПМТФ. 1984. № 5. С. 64–101.
2. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1973.
3. Страковский Л. Г., Фролов Е. И. Особенности зажигания полупрозрачных летучих ВВ монохроматическим световым потоком // Физика горения и взрыва. 1980. Т. 16, № 5. С. 140–147.
4. Страковский Л. Г., Уляков П. И., Фролов Е. И. Роль испарения в процессе зажигания взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. 1981. Т. 17, № 6. С. 59–64.
5. Зарко В. Е. Устойчивость зажигания конденсированных веществ // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26, № 6. С. 3–16.
6. Алхимов А. П., Бойко В. М., Папырин А. Н. Оптические методы диагностики высокоскоростных двухфазных потоков // Газодинамика неравновесных процессов. Новосибирск: Наука, 1981. С. 20–29.

*Поступила в редакцию 31/VII 1995 г.,
в окончательном варианте — 17/I 1996 г.*
