

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ
В ПОЛЕ МАССОВЫХ СИЛ

Э. И. Максимов, Ю. М. Максимов, А. Г. Мержанов
(Москва)

При горении многих конденсированных веществ образуется дисперсная зона реакции, в которой исходное вещество и продукты превращения находятся в пенном или аэрозольном состоянии [1—4]. Естественно ожидать, что при воздействии значительных массовых сил на горящий образец вследствие разницы в плотностях газа и конденсированного вещества дисперсная зона будет деформироваться, что может привести к изменению закономерностей горения.

С целью исследования этого вопроса была создана установка для изучения горения в поле массовых сил, возникающих при вращении (рис. 1). Испытуемый образец 1 (длиной 30 мм и диаметром 8 мм) помещался в камере 2, закрепляемой на вращающемся диске 3. (Для лучшей центровки две одинаковые камеры крепились симметрично относительно центра диска.) Камера имеет два электрических ввода 4 для поджога, отверстие для выпуска продуктов горения, расположенное между электрическими вводами, два противоположно расположенных щелевидных окна, закрытых органическим стеклом. Для поджога образца на спираль подается напряжение через кратковременно вклю-

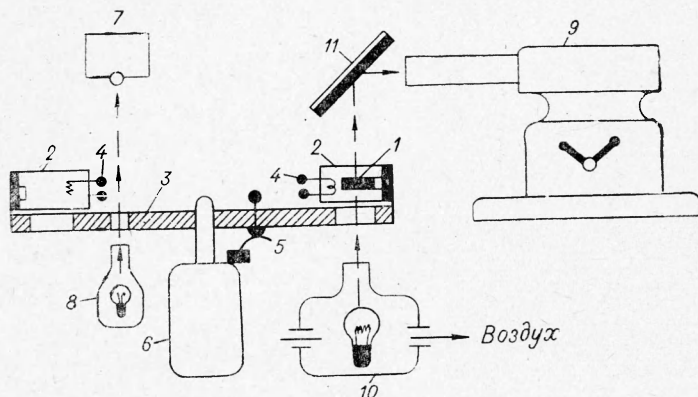


Рис. 1. Схема установки.

чаемый скользящий контакт 5. Диск вращается электродвигателем 6, число оборотов которого регулируется подачей напряжения. Контроль скорости вращения осуществлялся счетчиком оборотов 7, следящим за прерыванием луча света, проходящего через окно в диске от подсветки 8. Пучок света от мощной лампы 10, охлаждаемой воздухом, проходит через щель в диске, типа камеры, отражается в зеркале 11 и попадает в фоторегистр 9, т. е. скорость горения определялась по фото-

регистрации на движущуюся пленку регистра 9 тени, отбрасываемой горящим образцом вещества 1. Процесс горения записывался с перебивками, однако в силу большой скорости вращения диска для применяемых в опытах ширины вырезаемого пучка света и скорости протяжки пленки картина на фоторегистрациях получалась сплошной.

В установке предусматривалось закрепление камеры в двух положениях, соответствующих противоположным направлениям действия массовой силы: со стороны продуктов к фронту горения ($a > 0$) и в противоположном направлении ($a < 0$). Газоотводящее отверстие находится над горящим торцом таблетки, что практически исключает обтекание горячими продуктами боковой поверхности образца, и располагается оно так, что «наружный» ветер, возникающий при вращении, не попадает внутрь камеры. Размер отверстия ($d = 6$ мм) достаточен, чтобы считать перепад давления внутри камеры и снаружи при горении пренебрежимо малым. Кислород в камере не влияет на горение, так как объем камеры мал (~ 25 см³), а вытекание газообразных продуктов предотвращает в момент горения попадание кислорода окружающего пространства в камеру. Контрольные опыты показали, что скорости горения таблетки вещества в невращающейся камере и в бомбе постоянного давления в атмосфере азота при давлении в 1 атм совпадают. Управление установкой дистанционное. На пульте управления располагается система регулировки оборотов мотора, счетчик числа оборотов, система поджигания, управление фоторегистром. Максимальное число оборотов, развиваемое диском, 2000 об/мин, что составляет перегрузку в $a = 900$ g при расстоянии от оси диска до середины образца в 20 см. Относительное изменение массовой силы по длине образца $\pm 7\%$. Постоянство оборотов поддерживалось с точностью ± 50 об/мин.

Было исследовано горение поливинилнитрата (ПВН), являющегося нелетучим веществом, образующим дисперсную зону при горении. Прессованные таблетки ПВН склеивались ацетоном, боковая поверхность образцов покрывалась раствором плексигласа в дихлорэтаноле.

Была исследована зависимость скорости горения ПВН от перегрузки (до 900 g), действующей как в положительном, так и в отрицательном направлении. На рис. 2 приведена зависимость скорости горения от величины массовой силы положительного направления. (Каждая точка на графике является средней 5—7 опытов, разброс результатов при данной силе лежал в пределах 10%.) Как видно, при действии увеличивающейся перегрузки наблюдается увеличение скорости нормального горения для трех значений плотностей таблеток ПВН. При отрицательных перегрузках характер горения ПВН сложный, в этом случае наблюдается неустойчивость горения, проявляющаяся во внезапном резком увеличении скорости горения. Картину развития неустойчивости (практически одинакова для данных трех плотностей образцов) с увеличением отрицательной перегрузки можно проследить по типичным фотографиям процесса горения (рис. 3). На рис. 3, а скорость горения постоянна на протяжении горения всего образца. Уже при небольших перегрузках регистрация горения неровная, скорость горения возра-

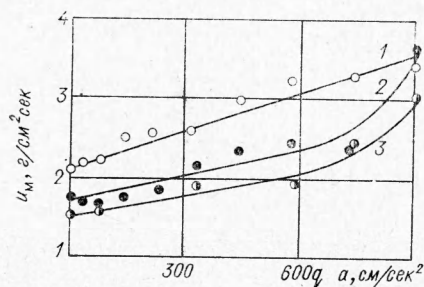


Рис. 2. Зависимость скорости горения ПВН от величины положительной перегрузки для плотностей образцов.

1 — 1,5 г/см³; 2 — 1 г/см³; 3 — 0,7 г/см³.

зательных перегрузках характер горения ПВН сложный, в этом случае наблюдается неустойчивость горения, проявляющаяся во внезапном резком увеличении скорости горения. Картину развития неустойчивости (практически одинакова для данных трех плотностей образцов) с увеличением отрицательной перегрузки можно проследить по типичным фотографиям процесса горения (рис. 3). На рис. 3, а скорость горения постоянна на протяжении горения всего образца. Уже при небольших перегрузках регистрация горения неровная, скорость горения возра-

стает ($a = -35$ g, средняя скорость горения возросла по сравнению с $a = 0$ примерно в два раза). При дальнейшем увеличении массовой силы (рис. 3, б) наблюдается резкое увеличение скорости горения после небольшого «начального участка» горения с небольшой скоростью. При больших массовых силах неустойчивость горения проявляется еще резче (рис. 3, в, г) и «начальный участок» устойчивого горения меньше.

Скорость горения на «начальном участке» с ростом перегрузки (по абсолютной величине) уменьшается, хотя количественно проследить закономерности не представляется возможным вследствие малости этого участка горения и невоспроизводимости вследствие неустойчивости горения.

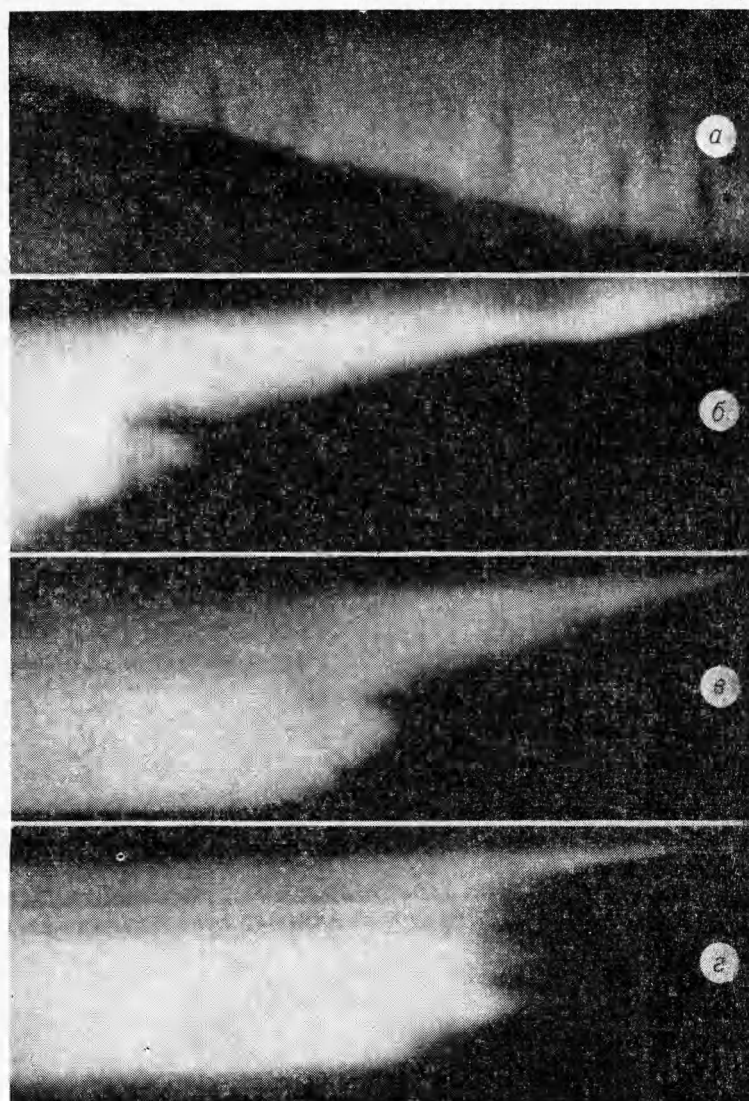


Рис. 3. Характер горения ПВН при отрицательной перегрузке ($\rho = 1$ г/см³).

а — $a = 0$; б — $a = -80$ g; в — $a = -110$ g; г — $a = -220$ g.

При объяснении наблюдаемых закономерностей будем исходить из представлений о ведущей роли процессов, протекающих в дисперсной зоне, состоящей из жидкого исходного вещества и газообразных продуктов горения. Согласно теоретическим выводам [4], в максимуме тепловыделения дисперсной зоны средняя плотность очень мала, всего в 2—3 раза превышает плотность газа при данном давлении и максимальной температуре, поэтому при горении при низких давлениях непрореагировавшее исходное вещество будет находиться в зоне реакции в виде малых капелек (аэрозоль). Процессы, протекающие вблизи максимума тепловыделения, оказывают решающую роль на закономерности горения. При действии на фронт горения массовой силы положительного направления движение частиц исходного вещества в газообразных продуктах будет тормозиться, что приве-



Рис. 4. Затухание горения образца при действии положительной массовой силы.

дет к увеличению тепловыделения в единице объема вследствие уменьшения расширения, а следовательно, к увеличению скорости горения. Таким образом, представления о дисперсной зоне качественно объясняют результаты, приведенные на рис. 2. Отметим, что при действии положительной массовой силы, при недостаточной бронировке боковой поверхности или при поджигании края торцевой поверхности образца наблюдалось затухание (рис. 4), объясняемое тем, что образуется конус, и массовые силы действуют вдоль фронта горения. Дисперсный слой стекает вдоль фронта (темные полосы на боковой поверхности оставшегося образца представляют собой застывшее полуразложившееся вещество), и горение прекращается.

При увеличении отрицательной перегрузки в согласии с высказанными соображениями скорость горения должна уменьшаться, но, по видимому, эти представления можно отнести только к «начальному участку» горения, скорость на котором уменьшается с увеличением (по абсолютной величине) перегрузки. Можно предполагать, что наблюдаемая неустойчивость горения при отрицательных перегрузках связана с тем, что при действии отрицательной массовой силы в отдельных, «слабых» местах срывается в целом жидкий слой. В эти места, которые имеют небольшую температуру и, следовательно, в которых реакция практически отсутствует, устремляются горячие газообразные продукты реакции, воспламеняя эти локальные участки вещества. Таким образом, эти «разрушенные» места будут воздействовать на горение как поры (каналы) при горении пористых веществ, для которых наблюдается неустойчивое горение, объясняемое прорывами газовых продуктов в поры вещества [5].

ВЫВОДЫ

1. Описана установка для изучения горения конденсированных веществ при атмосферном давлении под действием больших массовых сил.
2. Изучены закономерности горения поливинилнитрата под действием массовых сил (до 900 g) двух направлений (от продуктов горения к исходному веществу и в противоположном направлении).

Поступила в редакцию
6/VI 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Беляев, А. Е. Беляева. Докл. АН СССР, 1941, **33**, 41.
 2. R. Pappa, B. Crawford. J. Phys. Coll., 1950, **54**, 6, 929.
 3. П. Ф. Похил Сб. «Физика взрыва». № 2. М., 1953.
 4. Э. И. Максимов, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1966, 1.
 5. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ, Госэнергоиздат, 1957.
-