

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

О ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ДЕТОНАЦИИ В ГАЗАХ

В. Е. Гордеев

(Москва)

В пульсирующей детонации [1, 2], фронт которой всегда покрыт изломами — тройными маховскими конфигурациями, выделение тепла в разных участках изломов происходит с разной скоростью. Очаги наиболее интенсивного горения располагаются за маховскими скачками, которые движутся по газу на 15—20% быстрее, чем весь фронт в целом [3].

Детонация с гладким плоским фронтом и постоянной скоростью распространения представляет собой уникальное явление. Она наблюдалась, по-видимому, лишь в единственном исследовании [4]. Газовая смесь  $H_2 + O_2 + 8Ag$  при начальном давлении 0,05—0,07 ат нагревалась ударной волной до 600—800 К, и при отражении этой волны от жесткой стенки возникала детонация с гладким фронтом. Попытки воспроизвести это явление в других газовых системах оказались безуспешными, так как в них за отраженной волной всегда возникали отдельные очаги самовоспламенения [5], которые искажали поверхность детонационного фронта так, что детонация получалась пульсирующей. Важно отметить, что в детонации с гладким фронтом таких очагов самовоспламенения не было совсем.

В качестве еще одного примера детонации с гладким фронтом можно указать маховскую волну ядра детонационного спина, которая во многих газовых смесях имеет гладкий фронт [6]. Поперечный детонационный фронт в этом ядре также иногда распространяется без пульсаций.

Появление даже одного излома на фронте детонации неизбежно вызывает последовательное размножение тройных конфигураций вследствие различия в скорости тепловыделения за падающими и маховскими скачками. Известно [7], что такое различие в каждой тройной конфигурации резко изменяет интенсивность одного скачка относительно другого и служит причиной образования новых изломов.

Новые тройные конфигурации могут возникать на фронте детонации как при ее усилении, так и при ослаблении. На рис. 1 приводится фотография отпечатка следа тройной точки — последнего витка затухающего спина без поперечного детонационного скачка [8]. Такая разновидность спина представляет собой последний этап разрушения классической — спиновой детонации в круглой трубе. На снимке хорошо видно, как узкий вначале след внезапно расширяется. Это расширение — след нового маховского фронта и тройной точки, которые воз-

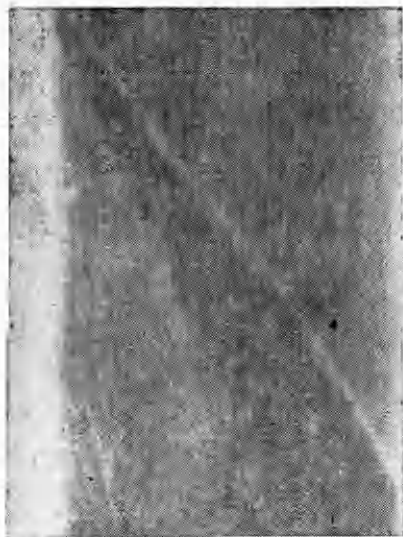


Рис. 1.

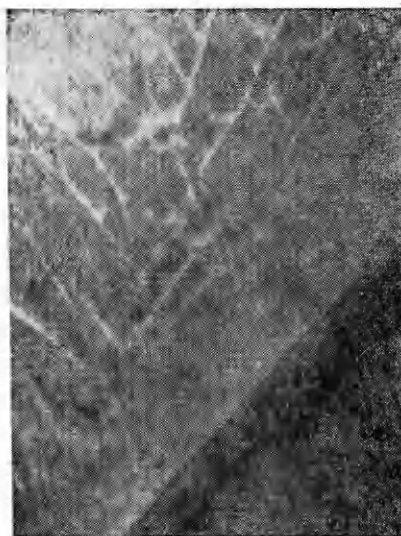


Рис. 2.

ники вследствие резкого ослабления одного из скачков единственной тройной конфигурации, из которой и состоит ядро такого спина. В свою очередь след новой тройной точки раздвигается еще раз, образуя след еще одной новой тройной точки. При затухании спина без поперечной волны это явление повторяется по нескольку раз подряд, но обычно так и не приводит к возрождению устойчивого процесса детонации.

Новые маховские конфигурации образуются также и при переходе детонации из менее плотной газовой смеси в более плотную, т. е. при усилении детонационной волны. Одноголовый спин переходит при этом в многоголовый (в пульсирующую детонацию). На рис. 2 дана фотография следовых отпечатков такого перехода в трубе, наполненной гремучим газом при начальном давлении 60 мм рт. ст. Один конец трубы охлаждался жидким азотом и содержал газ, почти вчетверо более плотный, чем в том участке, по которому распространялась спиновая детонация. На снимке видно, как вблизи траектории передней тройной точки ядра спина (косая темная полоса) образуются сначала наклонные полосы — следы новых тройных точек, а затем появляются и ветвящиеся следы, которые при взаимном пересечении создают систему ромбовидных ячеек, характерную для отпечатков пульсирующей детонации на стенках трубы, покрытых тонким слоем сажи.

Средний размер неоднородностей на фронте пульсирующей детонации остается неизменным, если скорость постоянна. Любое изменение скорости детонации в одной и той же газовой смеси приводит и к изменению среднего числа изломов на единицу площади поверхности фронта. При замедлении детонации происходит укрупнение, а при ускорении — измельчение неоднородностей. Каждому значению скорости в одной и той же газовой системе при заданных начальных условиях соответствует определенный размер пульсаций, т. е. определенное число неоднородностей на единицу площади поверхности фронта.

Скорость маховских скачков относительно покоящегося газа всегда больше скорости падающих. Поэтому при одном и том же увеличении скорости всего фронта под действием поршня интенсивность маховских скачков в изломах возрастает в большей степени, чем интенсивность падающих, а это неминуемо приведет к рождению новых изломов. Пока скорость поршня будет возрастать, будут рождаться все новые и все

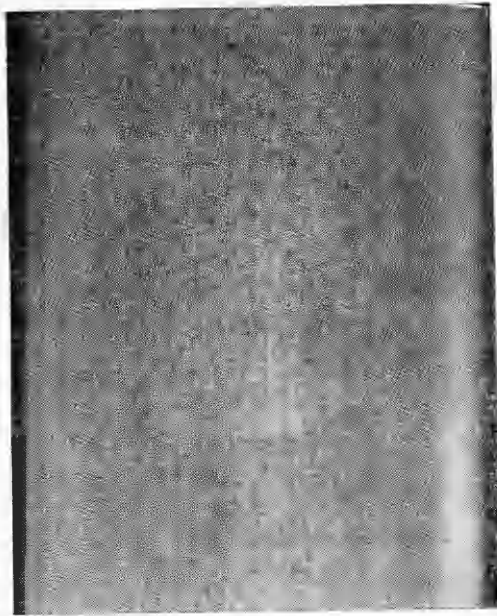


Рис. 3.

фотография следовых отпечатков в том месте детонационной трубы диаметром 16 мм, где возникают первые пульсации и происходит переход гладкой волны в пульсирующую. Этот отпечаток соответствует переходу в гремучем газе при начальном давлении 200 мм рт. ст. Предельная скорость пульсирующей детонации в этом случае равна 3,6 км/с. Расстояние между дугообразными следами составляет 1 мм. При начальном давлении 40 мм рт. ст. в области перехода образуются более крупные неоднородности, размеры которых достигают 8 мм. Они появляются после того, как волна с гладким фронтом успевает пройти расстояние около 1 м (при энергии инициирования около 2 кДж). В этом случае предельная скорость составляет 2,8 км/с.

более мелкие неоднородности фронта пульсирующей детонации. Но оказывается, что в большинстве случаев такое измельчение неоднородностей продолжается лишь до тех пор, пока скорость фронта не превысит скорость Чепмена — Жуге примерно на 40% [6]. Дальнейшее увеличение скорости приводит к полному исчезновению изломов и появлению гладкого фронта волны. Наименьшую скорость пересжатой детонации с гладким фронтом можно считать предельной скоростью пульсирующей детонации.

Сильное инициирование газовой детонации импульсным электрическим разрядом позволяет создать волну с гладким фронтом. Постепенно замедляясь, она переходит в пульсирующую. Как правило, этот переход совершается довольно резко.

На рис. 3 представлена фото-

*Поступила в редакцию 1/III 1976,  
после доработки — 22/II 1977*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Денисов, Я. К. Трошин. Докл. АН СССР, 1959, 125, 1, 110.
2. Ю. Н. Денисов, Я. К. Трошин, К. И. Щелкин. Изв. АН СССР, ОТН, Энергетика и автоматика, 1959, 6, 79.
3. К. И. Щелкин, Я. К. Трошин. Газодинамика горения. М., «Наука», 1963.
4. Р. И. Солоухин. ПМТФ, 1964, 4, 41.
5. С. Г. Зайцев, Р. И. Солоухин. Докл. АН СССР, 1958, 122, 6, 1039.
6. В. Е. Гордеев. Докл. АН СССР, 1976, 226, 3.
7. В. Е. Гордеев. Докл. АН СССР, 1976, 226, 2.
8. В. Е. Гордеев. Докл. АН СССР, 1974, 215, 2, 363.