

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Фрост, В. Л. Юмашев. ПМТФ, 1973, 3.
2. Б. В. Новожилов. Нестационарное горение твердых ракетных топлив. М., «Наука», 1973.
3. M. Summerfield et al. J. Spacecraft and Rockets, 1971, 3.
4. Н. Т. Кузовков. Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах. М., Оборонгиз, 1960.
5. С. С. Новиков, Ю. С. Рязанцев. ПМТФ, 1969, 2.
6. L. D. Strand, A. L. Schultz, G. K. Reedy. J. Spacecraft and Rockets, 1974, 2.
7. C. F. Yin, C. E. Hermance. AIAA Paper № 71-173.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЙ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ

Б. Н. Федоров

Известно, что в акустическом поле при определенной его интенсивности скорость горения конденсированных веществ может существенно отличаться от скорости горения без акустического поля. В стоячей акустической волне скорость горения в пучности значительно отличается от скорости горения в узле акустической скорости [1—3]. Настоящая работа проводилась с целью исследования влияния колебаний при различных средних давлениях и местоположениях образцов в акустической волне на скорость горения конденсированных веществ разных составов.

Были созданы специальные установки (рис. 1). Принцип действия установок заключался в искусственном генерировании колебаний давления при помощи сирены обратного действия 1 в камере 2, в которой помещался исследуемый образец конденсированного вещества 3, бронированный по боковой поверхности и горящий с торца. Сирена, приво-

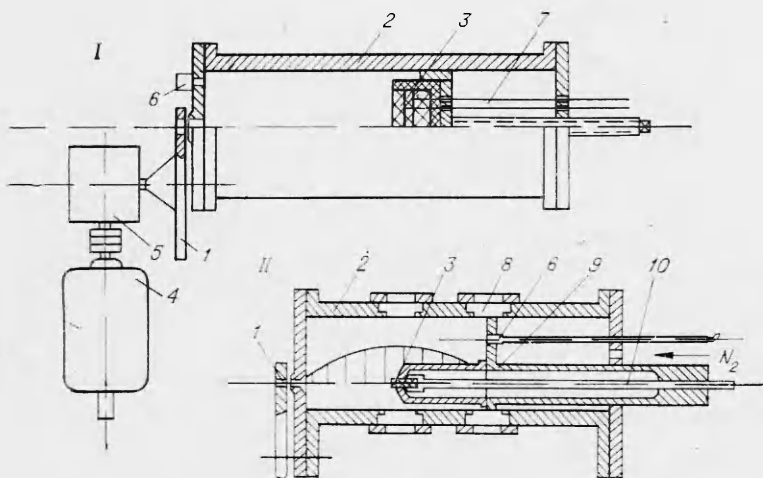


Рис. 1. Установки для исследования влияния колебаний давления на скорость горения состава А(1) и для исследования влияния колебаний давления и скорости газового потока на скорость горения составов А, В, С (II).

димая в движение электродвигателем 4 через редуктор 5, периодически перекрывала сопло-очко¹, внося колебания внутрь камеры. Частота вносимых колебаний могла изменяться от 50 до 5000 Гц. Колебания давления измерялись с помощью пьезоэлектрического датчика 6.

В установке I образец конденсированного вещества вставлялся в державку, которая с помощью винта могла перемещаться по длине камеры, меняя ее акустические свойства. Уровень среднего давления определялся эффективным критическим сечением сопла-очка. Скорость горения конденсированного вещества измерялась при помощи перегорающих проволочек 7.

Параметры измерялись со следующими погрешностями (максимальными): среднее давление — 2%, частота колебаний — 1%, скорость горения конденсированного вещества — 2%, амплитуда колебаний давления — 12%. Исследуемые образцы баллиститного состава без катализирующих и металлических присадок (состав А) имели размеры: диаметр — 120 и длина — 80 мм и горели с одного торца.

В установке II уровень среднего давления устанавливался азотом и поддерживался редуктором. Скорость горения измерялась с помощью киносъемки через прозрачные окна 8 в стенках камеры. Образец конденсированного вещества, бронированный по боковой поверхности, диаметром 20 и длиной 50 мм, горел с торца в потоке азота. Толщина прозрачной бронировки выбиралась из условия горения образца слоями, параллельными торцу, и нераспространения пламени на боковую поверхность. Для выравнивания потока азота камера была снабжена решеткой 9, которая являлась также отражающей поверхностью для вносимых колебаний. Решетка и шток с держателем образца 10 могли перемещаться вдоль камеры и относительно друг друга, меняя акустические свойства камеры и местоположение образца в акустическом поле. Частота вносимых колебаний подбиралась равной собственной частоте продольных колебаний газового столба в камере. Эпюра акустической скорости первой моды продольных колебаний показана на рис. 1. Погрешность измерения скорости горения составляла 3%. Погрешность измерений остальных параметров такая же, как и на установке I.

На установке II испытывались следующие конденсированные вещества: баллиститный состав без катализирующих и металлических добавок (А), баллиститный состав с добавкой окиси магния и отрицательного катализатора скорости горения (В) и смеси состав с добавкой алюминиевого порошка (С).

Анализируя записи колебаний давления, можно отметить следующее:

1) амплитуда колебаний имела биения, что можно объяснить неточным соответствием частоты вынужденных колебаний и частоты собственных колебаний газового столба в камере;

2) вместе с основной частотой присутствовали гармоники, которые имели довольно значительную амплитуду;

3) амплитуда колебаний при испытаниях на установке I не превышала 188 дБ, а при испытаниях на установке II лежала в пределах 194—214 дБ.

Все испытания конденсированных веществ проводились при начальной температуре образцов +20°C.

Диапазон средних давлений при исследованиях влияния колебаний на скорость горения конденсированного вещества состава А на установке I составлял 20 ÷ 100 бар. Скорость горения в случае облучения образцов колебаниями давления с нерезонансными (по отношению к газовому столбу в камере) частотами 100 ÷ 500 Гц не отличалась от

¹ Термин «сопло-очко» означает сопло без расширяющегося выходного раструба.

скорости горения, измеренной без внесения колебаний. Скорость горения в условиях облучения образцов колебаниями давления с резонансными частотами $1000 \div 4000$ Гц незначительно отличалась (в сторону уменьшения) от скорости горения, измеренной без внесения колебаний (рис. 2). Пучность давления всегда приходилась на поверхность горения.

На установке II составы испытывались в диапазоне средних давлений $20 \div 40$ бар при частотах колебаний $600 \div 700$ и $1700 \div 1800$ Гц, которые соответствовали собственным частотам газового столба в камере.

На рис. 3 представлены результаты испытаний составов А, С, В. Зависимость скорости горения от давления, полученная на установке II без внесения колебаний, нанесена в виде кривых, треугольником обозначены значения скорости горения при нахождении поверхности горения образца в пучности давления стоячей волны, а кружком — в пучности скорости стоячей волны.

При расположении поверхности горения образца состава А в пучности давления стоячей волны скорость горения уменьшалась по сравнению со стационарной. Причем скорость горения была тем меньше, чем больше амплитуда колебаний. Этот же результат получен и на установке I (см. рис. 2). Факты уменьшения скорости горения конденсированных веществ в пучности давления стоячей волны по сравнению со скоростью горения, полученной без колебаний, установлены также на других составах [2] и объясняются нелинейностью происходящих процессов [4].

При расположении поверхности горения образца в пучности скорости стоячей волны скорость горения увеличивалась по сравнению со стационарной. Малое количество точек и несомненное влияние атмосферы азота не позволило судить о какой-либо тенденции в изменении скорости горения при изменении амплитуды колебаний. Увеличение скорости горения в пучности скорости стоячей волны получено также и для других составов конденсированных веществ [2, 5].

Эффект увеличения скорости горения можно объяснить турбулизацией зоны горения в газовой фазе акустической составляющей скорости потока и увеличением вследствие этого теплового потока в твердую

фазу. В данных экспериментах амплитуда колебательной составляющей скорости не превышала 30 м/с, а в большинстве случаев была значительно меньше. Отсюда можно видеть, что для знакопеременного обдува поверхности горения нельзя при расчете скорости горения применять формулы, учитывающие увеличение скорости горения при обдуве поверхности горения постоянным потоком, поскольку пороговые скорости пото-

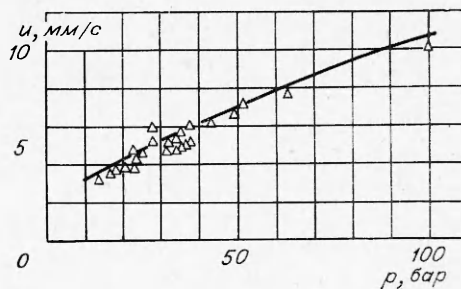


Рис. 2. Результаты экспериментов по исследованию влияния колебаний давления на скорость горения состава А на установке I.

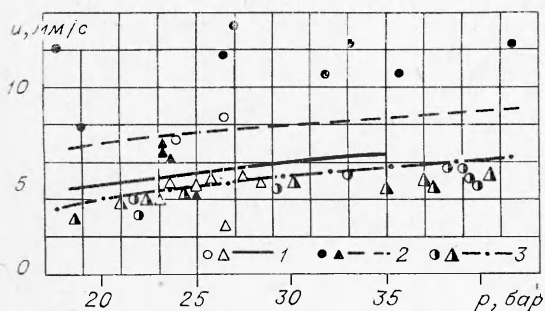


Рис. 3. Результаты экспериментов по исследованию влияния колебаний давления и скорости газового потока на скорость горения составов А(1), С(2) и В(3) на установке II.

ка, выше которых начинается увеличение скорости горения, имеют значения более 100 м/с.

Для сопоставимых амплитуд колебаний увеличение скорости горения в пучности скорости стоячей волны гораздо больше, чем уменьшение ее в пучности давления по сравнению со стационарной скоростью горения.

Результаты испытаний составов С и В при расположении поверхности горения образца в пучности давления стоячей волны качественно согласуются с результатами испытаний состава А, хотя составы эти совершенно различны (см. рис. 3). При расположении поверхности горения образца состава В в пучности скорости стоячей волны происходило уменьшение скорости горения по сравнению со стационарной скоростью горения без воздействия колебаний, что не соответствовало результатам испытаний составов А и С, а также других работ [2, 5].

Для некоторых катализированных конденсированных веществ известен факт уменьшения скорости горения при обдувании поверхности горения стационарным газовым потоком по сравнению со скоростью горения без обдува (отрицательный эрозионный эффект). В данном исследовании с конденсированным веществом состава В также отмечено уменьшение скорости горения по сравнению со стационарной скоростью горения, но при воздействии на поверхность знакопеременного потока с амплитудой, не превышающей 30 м/с. На примере конденсированных веществ составов А и С можно видеть, что знакопеременный поток воздействовал на газовую зону горения гораздо интенсивнее, чем постоянный поток вдоль поверхности горения, вследствие чего скорость горения существенно возрастала по сравнению со стационарной. В отличие от вещества А и С вещество В имело в своем составе отрицательный катализатор скорости горения. Действие отрицательного катализатора заключается в том, что под воздействием каких-либо возмущений (например, температуры) он замедляет протекающие реакции.

В случае помещения поверхности горения образца состава В в пучность скорости стоячей волны дополнительный поток тепла, получающийся вследствие турбулизации газовой фазы горения, настолько активировал действие отрицательного катализатора, что его воздействие на скорость горения (уменьшение) могло преобладать над воздействием на скорость горения дополнительного потока тепла из газовой фазы (увеличение скорости горения), что в конечном счете выразилось в некотором уменьшении скорости горения состава В по сравнению со скоростью горения без воздействия колебаний. Возможно, что при увеличении амплитуды колебаний, начиная с некоторого ее значения, либо в другом диапазоне давлений увеличение теплового потока приведет к преобладающему его влиянию на увеличение скорости горения по сравнению с влиянием активированного отрицательного катализатора скорости горения в сторону уменьшения скорости горения, что выразится в увеличении скорости горения по сравнению со стационарной скоростью.

Таким же образом можно объяснить отрицательный эрозионный эффект, возникающий при обдуве поверхности горения некоторых конденсированных веществ постоянным газовым потоком.

Зона «плато» в законе скорости горения имеется, как правило, у катализированных составов конденсированных веществ. Ее появление, начиная с некоторого давления, возможно, отвечает равновесию воздействия на скорость горения давления, увеличивающего скорость горения, и катализатора (вследствие активизации его действия непосредственно давлением или посредством увеличения теплового потока), уменьшающего скорость горения. При дальнейшем увеличении давления воздействие катализатора (уменьшение скорости горения) становится меньше, чем воздействие давления (увеличение скорости), и зо-

на «плато» заканчивается. В этом случае роль турбулентного потока вдоль поверхности горения играет давление.

Приведенные объяснения требуют для своего подтверждения дальнейших исследований и, в частности, изучения механизма воздействия катализаторов на скорость горения конденсированных веществ. Для всех составов исследованных конденсированных веществ не было замечено какой-либо зависимости скорости горения от частоты колебаний.

Поступила в редакцию
21/IV 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследования ракетных двигателей на твердом топливе. М., ИЛ, 1963.
2. Крамп, Э. В. Прайс. РТК, 1964, 7.
3. Л. А. Уоттермейер. РТК, 1961, 4.
4. Б. В. Новожилов. ФГВ, 1965, 1, 3.
5. Ю. И. Медведев, Л. Н. Ревагин. ФГВ, 1974, 10, 3.

РЕЛАКСАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ЛОКАЛЬНОГО РАЗОГРЕВА ТВЕРДЫХ ВВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

А. П. Амосов, С. А. Бостанджиян

Г. Т. Афанасьевым и В. К. Боболевым предложен механизм инициирования твердых ВВ при ударе за счет упругой разгрузки [1]. Движение деформированных частей при разгрузке носит характер затухающих колебаний [2]. Эти колебания, обусловленные действием упругих сил и трения, есть механические релаксационные колебания [3, 4]. Таким образом, механизм образования очагов разогрева за счет упругой разгрузки можно назвать релаксационным механизмом.

Ниже рассматриваются закономерности возникновения механических релаксационных колебаний при деформации сдвига плоских слоев твердого ВВ, определяются образующиеся при этом очаги разогрева, исследуется воспламенение этих очагов.

Постановка задачи

Пусть две одинаковые бесконечные плоские пластины одного и того же ВВ прижаты друг к другу и находятся в состоянии простого сдвига, а наружные грани их закреплены (рис. 1). Если при этом касательное напряжение τ_y в пластинах меньше удельной силы трения $\tau_{тр}$, то пластины находятся в состоянии равновесия и скольжение отсутствует. За исходное принимаем положение, когда $\tau_y = \tau_{тр}^0$, где $\tau_{тр}^0$ — удельная сила трения покоя при начальной температуре ВВ. Чтобы получить разогрев за счет трения скольжения при упругой разгрузке, необходимо нарушить равновесие и инициировать упругую разгрузку.

Один из возможных способов нарушения начального равновесия — уменьшение силы трения на определенную величину в начальный момент времени. Этого можно достичь, например, за счет уменьшения давления прижатия пластин. Другой способ — начальный толчок, т. е. сообщение незакрепленным частям пластин определенной начальной