

Таким образом, уравнение (1), учитывающее отрицательное взаимодействие цепей, позволяет различать два качественно различных режима разветвленно-цепных процессов:

1) режим прогрессирующего самоускорения реакции, при котором могут быть достигнуты большие скорости и большие концентрации активных центров;

2) режим, при котором увеличение скорости и концентраций активных центров с самого начала протекает с замедлением, причем максимальные значения этих величин обычно значительно меньше, чем в режиме прогрессирующего самоускорения.

Переход от одного режима в другой определяется условием  $\varphi=0$ . Кроме того, при нулевом значении  $\varphi$  претерпевает наибольшее изменение характер зависимости  $n_m$  от  $\varphi$  при данных  $\omega_0$  и  $k$ . Как видно из выражений (7) и (8), резкость перехода от одного режима в другой определяется этими параметрами.

Автор выражает глубокую благодарность Б. В. Новожилову за обсуждение работы.

*Поступила в редакцию  
30/IV 1974*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Семенов. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 456.
2. В. В. Азатян, Н. Н. Семенов. Тезисы докл. на III Всесоюзном симпозиуме по горению и взрыву. Ленинград, 1971, с. 258.
3. В. В. Азатян, Н. Н. Семенов. Кинетика и катализ, 1972, **13**, 17.
4. В. В. Азатян, С. Б. Филиппов. II Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. Ереван, 1969.
5. В. Ф. Гау, С. Н. Янг. J. Phys. Chem., 1965, **69**, 274.
6. В. Ф. Гау, С. Н. Янг. 11-th Symp. Comb., 1967, p. 1099.
7. Е. А. Александров, А. И. Поройкова и др. Кинетика и катализ, 1973, **14**, 543.
8. Д. А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередачи в химической кинетике. М., Изд-во АН СССР, 1968.

УДК 622.235

#### ВЗРЫВНАЯ ПРЕССОВКА ПОРОШКОВ

*В. Бабуль, Я. Багровский, К. Бережаньский*

*(Варшава)*

Настоящая работа посвящена проблемам прессования и нанесения порошков металлов на цилиндрические поверхности с использованием энергии взрывчатого вещества. Физика этого процесса изучена недостаточно, что препятствует его более широкому применению. Из работ, посвященных обсуждаемой проблеме, следует отметить исследования [1—4]. В этих работах применялись установки, где порошок находился в цилиндрических контейнерах и подвергался взрывной нагрузке со стороны слоя ВВ, находящегося вне контейнера.

Из анализа [1—4], а также на основе работ автора следует, что процесс ударного нагружения порошкообразных сред можно провести таким образом, что частицы порошка соединятся не только между собой, но и с поверхностью контейнера.

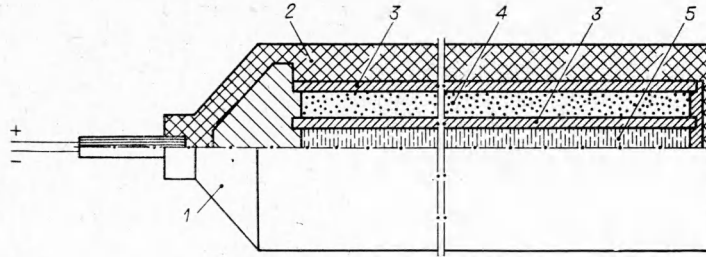


Рис. 1. Схема эксперимента.

1 — детонатор; 2 — заряд ВВ; 3 — металлические трубки; 4 — слой порошкообразной среды; 5 — инертная (затухающая) среда.

В опытах (схема установки показана на рис. 1) применялись алюминиевые и стальные трубки разной длины. В качестве сердечника использовались стержень из низкоуглеродистой стали или вода. Исследовались порошки следующего состава: 50% Al+50% W, 50% Al+50% В<sub>4</sub>С, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+порошки металлов (Cu, Zn, Al). Форма зерен порошка была нерегулярной, их размеры составляли в среднем 10—20 мкм. Применяемые в исследованиях взрывчатые вещества и их характеристики представлены в таблице.

В представленной на рис. 1 установке исследуемый порошок помещался между двумя трубками. Нагрузка генерировалась детонацией слоя ВВ, помещенного вне большей трубки. Внутри меньшей трубки помещался стержень, выполнявший функцию инертного слоя (преграды). Скорость детонации применяемых в эксперименте ВВ изменялась в пределах  $(3,7—7,1) \cdot 10^5$  см/с. Толщина слоя ВВ равнялась 10—14 мм.

За количественную характеристику качества процесса прессовки приняты два параметра: сцепляемость слоя спрессованного порошка с подложкой (поверхностью трубок), а также степень прессовки (отношение плотности спрессованного слоя к монолитной плотности материала порошка). Сцепляемость, определяемая значением прочности на сдвиг, изменялась от 170 до 600 кг/см<sup>2</sup>, значения степени прессовки составляли соответственно 0,70—0,96.

На рис. 2 представлены результаты исследований сцепляемости нанесенного слоя порошка Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в функции процентного содержания примесей порошков металлов (часть результатов приведена автором работы [2]). Толщина нанесенных слоев равнялась в этом случае 0,8—0,9 мм.

На рис. 3 представлены макро- и микроструктуры спрессованного порошка различных смесей. Левый верхний фотоснимок на рис. 3, б представляет картину внутри спрессованного слоя порошка, а нижний — картину пограничного слоя (порошок — стенка трубки). Эти фотоснимки изготовлены сканирующей техникой.

На основе фотоснимков микроструктуры смеси 50% Al+50% В<sub>4</sub>С, представленных на рис. 4, можно констатировать появление соединения слоя порошка со стенкой трубки через промежуточный слой. Эта зона отличается от расположенных глубже областей спрессованного слоя порошка. На рис. 5, представлена микроструктура пограничного слоя в случае отсутствия соединения.

В процессе ударной прессовки порошка происходит адиабатическое сжатие газа, содержавшегося в пустотах.

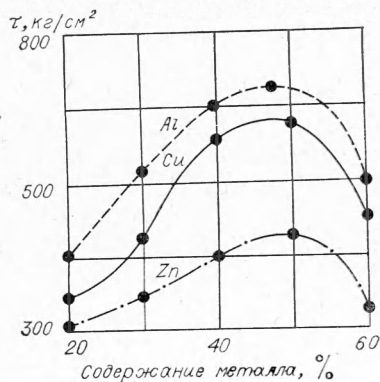


Рис. 2. Сцепляемость слоя Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с подложкой в функции процентного содержания металлических порошков.

Преодолеваются силы трения между частицами и происходит их пластическая деформация, создающая условия для частичного или полного соединения частиц друг с другом.

Можно сказать, что процесс соединения слоя порошка с поверхностью трубы происходит следующим образом: после перехода импульса нагрузки через слой порошка к стенке трубы происходит процесс его отражения и преломления. В этом случае за фронтами отраженных и преломленных ударных волн могут возникнуть процессы нагрузки или разгрузки. Доказательство появления процесса нагрузки за фронтами упомянутых выше волн, распространяющихся в слоевых средах с линейно-упругой разгрузкой, приведено в работе [5]. Оно касается случая нормального падения волны нагрузки по отношению к преграде.

В опытах из-за формы заряда взрывчатого вещества, его инициирования и скорости детонации возник случай косоугольного падения волны нагрузки (ударной) на стенку трубы. На основании теории ударных волн [6] в этом случае имеет место регулярное или нерегулярное отражение падающей волны. По нашему мнению, выводы из работы [5] можно применять в случае регулярного отражения при

Нагрузка		Инертное вещество		Порошок	Материал трубы	Сцепление спрессованного слоя с поверхностью трубы		$\rho_0/\rho_{00}$		
		толщина слоя, мм	Д, м/с			внутреннее	внешнее			
ВВ	Флегматизированный гексоген	11	6300	Малоуглеродистая сталь + вода	W+Al	Al	Разрушена 180	Следы —	— 0,75	
		11	6300	Вода	»	»	—	—	~0,90	
		10	6000	Малоуглеродистая сталь + вода	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al	Ст. 3	—	400—600	—	~0,90
		10	6000	То же	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Cu	»	—	350—560	—	~0,90
		10	6000	»	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Zn	»	—	300—400	—	~0,90
ПВВ	Аммонит Смесь 70% фегматизированного гексогена + 30% NH <sub>2</sub> NO <sub>4</sub>	10	7100	Малоуглеродистая сталь	W+Al	Al	Разрушена	Разрушена	—	
		11	3200	Вода	»	»	174	—	0,67	
		14	3700	»	B <sub>4</sub> C+Al	»	—	172	—	0,96

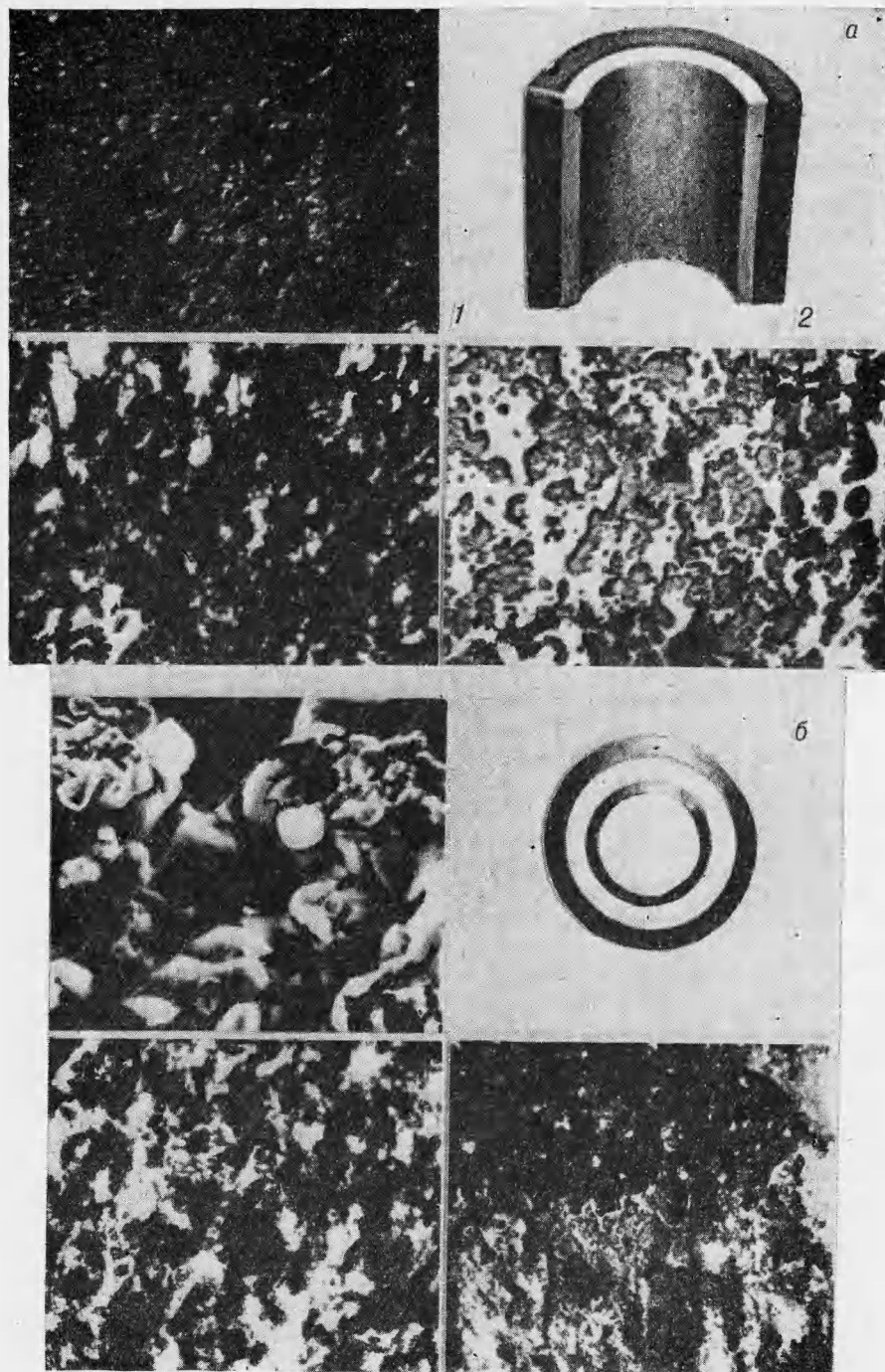


Рис. 3. Макро- и микроструктуры образцов 50% В<sub>4</sub>С+50% Аl (а) и 50% W+50% Аl (б).

1 — поперечное сечение (травленный шлиф, ×250); 2 — продольное сечение (нетравленный шлиф, × 250).

малых углах падения, так как при нерегулярном отражении возникает лобовая волна, распространяющаяся вдоль стенки трубки.

Рассмотренные выше случаи формирования нагрузки на границе порошок — стенка нашли отражение в проведенных в настоящей работе

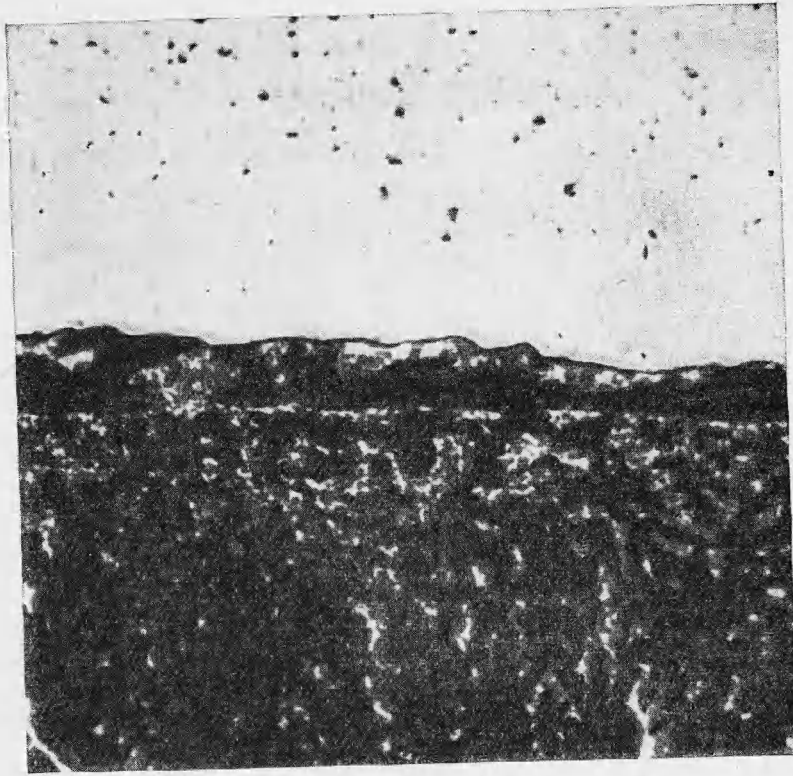


Рис. 4. Микроструктура образца 50%  $V_4C$ +50% Al с промежуточной зоной (травленный шлиф,  $\times 250$ ).

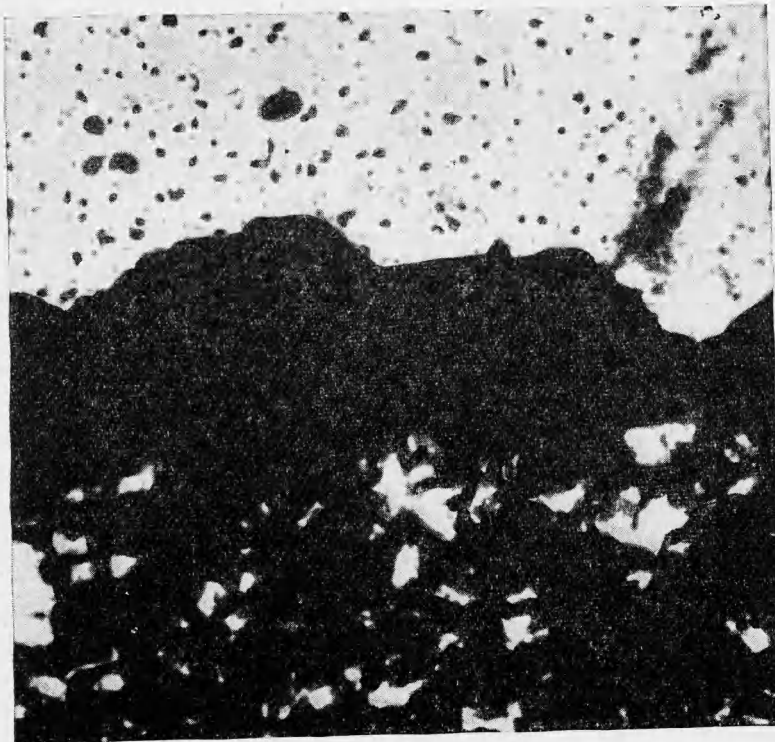


Рис. 5. Микроструктура края образца 50%  $V_4C$ +50% Al. Виден промежуток между стенкой трубы и слоем (травленный шлиф,  $\times 250$ ).

