

Для этих зависимостей с помощью приближенного метода интегральных соотношений были построены кривые погасания при экспоненциальном спаде давления [21], воздействии треугольного импульса давления [20] и при горении пороха на металлической подложке [22], которые качественно согласуются с экспериментальными данными. Можно ожидать, что распространение на случай разрывных функций $v(\varphi, p)$ предложенного в настоящей работе исследования гашения с помощью точного решения нелинейной задачи о ступенчатом изменении скорости горения позволит улучшить количественное согласие теории с экспериментом.

Автор благодарит О. И. Лейпунского, А. Г. Истратова и В. Б. Либровича за руководство работой.

Поступила в редакцию
29/VIII 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Г. Ассовский, А. Г. Истратов. ПМТФ, 1971, 5.
2. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1942, 12, 11—12.
3. Я. Б. Зельдович. ПМТФ, 1964, 3.
4. Б. В. Новожилов. ФГВ, 1968, 4, 4.
5. Ю. А. Гостинцев, А. Д. Марголин. ПМТФ, 1964, 5.
6. Б. В. Новожилов. ПМТФ, 1970, 4.
7. В. Б. Либрович, Б. В. Новожилов. ПМТФ, 1971, 4.
8. И. Г. Ассовский, А. Г. Истратов, В. Б. Либрович. ПМТФ, 1971, 6.
9. Г. М. Махвиладзе. ПМТФ, 1971, 4.
10. Э. В. Конев, С. С. Хлевой. ФГВ, 1966, 2, 4.
11. Г. Деч. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа. М., Физматгиз, 1960, стр. 104.
12. В. Ф. Михеев, А. А. Ковальский, С. С. Хлевой. ФГВ, 1968, 4, 4.
13. С. С. Хлевой, В. Ф. Михеев. ФГВ, 1968, 4, 4.
14. В. Ф. Михеев. Канд. дисс. Новосибирск, 1970.
15. Э. В. Конев. НТПГВ, 1965, 1, 2.
16. А. А. Зенин, О. И. Нефедова. ФГВ, 1967, 3, 1.
17. В. Н. Маршаков, О. И. Лейпунский. ФГВ, 1967, 3, 2.
18. Б. В. Новожилов. ПМТФ, 1967, 1.
19. С. С. Новиков, Ю. С. Рязанцев. ПМТФ, 1969, 2.
20. Ю. А. Гостинцев, А. Д. Марголин. НТПГВ, 1965, 1, 2.
21. А. Г. Истратов, В. Б. Либрович, Б. В. Новожилов. ПМТФ, 1964, 3.
22. О. И. Нефедова, С. С. Новиков и др. ПМТФ, 1970, 2.

УДК 541.12.03

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОГО СЖАТИЯ ТИТАНОВОГО ПОРОШКА И ГУБКИ

*А. А. Дерibas, А. В. Крупин, Е. В. Кузнецов,
А. М. Ставер, В. Я. Соловьев
(Новосибирск)*

В настоящей работе исследовалась ударно-волновая картина, возникающая при взрывном обжати титанового порошка и губки цилиндрическим зарядом ВВ, а также изучалось влияние параметров ударного сжатия на плотность получаемого брикета.

Ударному сжатию подвергался титановый порошок двух фракций (5—15 мкм и 0,1—0,5 мм), а также титановая губка с размером частиц 1—5 мм. Титановая губка — это пористые частицы технически чистого

титана. Порошок (губка) помещался в цилиндрические ампулы из ви-нипласта (внутренний диаметр трубки 32 мм, толщина стенки 0,5 мм) и алюминия (внутренний диаметр трубки 30 и 17 мм, толщина стенки 1 и 1,5 мм) высотой 100 и 130 мм. С торцов ампула закрывалась эбонитовыми пробками.

Для фиксирования характера течения частиц за ударной волной по высоте ампулы размещали свинцовые фольги толщиной 50 мкм. Взрывное обжатие ампулы осуществлялось цилиндрическим зарядом ВВ. В качестве ВВ применялись гексоген, аммонит, смеси аммонита с аммиачной селитрой. Высота слоя ВВ составляла 5—15 мм.

Исследования проводились на рентгеновской импульсной установке по методике, предложенной в работе [1]. Геометрия ударно-волновой картины и характер течения за ударной волной исследовался по рентгенограммам, на которых фиксировалось положение и форма фронта ударной волны и фольг, а также по форме продольного сечения сохраненных образцов.

Средняя плотность сохраненных образцов определялась методом гидростатического взвешивания. Распределение плотности изучалось с помощью рентгеновской съемки пластин, вырезанных из спрессованных образцов и последующей обработки полученных рентгенограмм на микрофотометре. Спрессованные образцы разрезались на диски толщиной 5 мм, а также на продольные пластины толщиной 5 мм (длина пластины равнялась высоте образца, ширина — диаметру образца). Из листового титана с плотностью $4,505 \text{ г/см}^3$ был изготовлен эталонный клин.

На рентгено-импульсной установке проводилась съемка (на одну рентгеновскую пленку) исследуемых дисков, пластин и эталонного клина. На полученной рентгенограмме интенсивность почернения соответствовала степени плотности данного участка образца. Регистрация степени почернения и его распределения по объему исследуемых образцов проводилась на микрофотометре МФ-4. Обнаруженная линейность зависимости степени почернения от толщины эталонного клина позволила определить количественное значение плотности исследуемых образцов.

В результате исследования рентгенограмм было обнаружено, что в порошке и губке титана при их ударном сжатии цилиндрическим зарядом ВВ распространяется коническая ударная волна (рис. 1, а), переходящая (при увеличении параметров ударного сжатия) в волну, имеющую форму усеченного конуса (рис. 1, б). Зафиксированная ударно-волновая картина подобна обнаруженной в металлических цилиндрах [2], цилиндрах из оргстекла [3], в цилиндрах из некоторых пористых сред [1], а также в столбе жидкости и льда [4].

Течение за конической волной характеризуется затуханием скорости движения вещества от стенки ампулы к ее центру. При распространении трехударной конфигурации скорость частиц в центральной части ампулы, расположенных за плоским участком волны, значительно превышает скорость частиц за коническими участками волны, в результате чего в окрестности оси ампулы образуется высокоскоростной поток, который может в некоторых случаях вызвать появление осевой полости в сохраненном образце. На рис. 2 приведена рентгенограмма, на которой зафиксирован момент выхода металла из осевой зоны в виде струи. Рентгеновские снимки образцов, спрессованных в режиме с образованием конической волны и трехударной конфигурации, приведены на рис. 3.

При равной плотности набивки ампул порошком обеих фракций, а также губкой титана и одинаковых параметрах ударного сжатия различия в характере ударно-волновой картины и течения за ударной волной не обнаружено. В таблице приведены значения средней плотности образцов, спрессованных из порошка с размером частиц 0,1—0,5 мм при различных параметрах ударного сжатия, а также указан характер

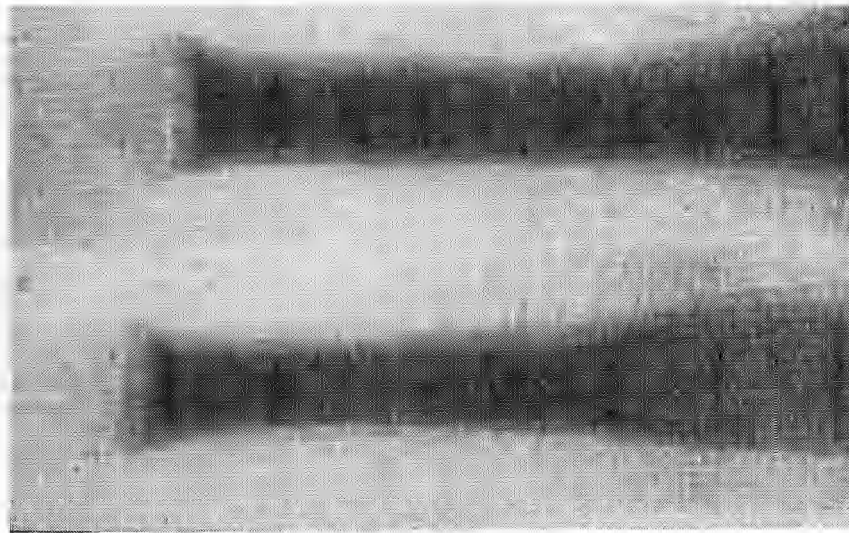


Рис. 1. Рентгенограммы процесса ударного сжатия ампулы с титановым порошком в режиме с образованием конической волны (а) и трехволновой конфигурации (б).

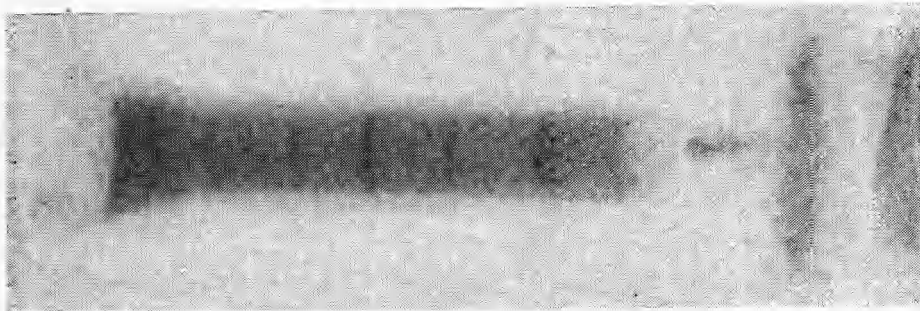


Рис. 2. Рентгенограмма процесса ударного сжатия ампулы с титановым порошком в момент выхода металла из осевой зоны образца.

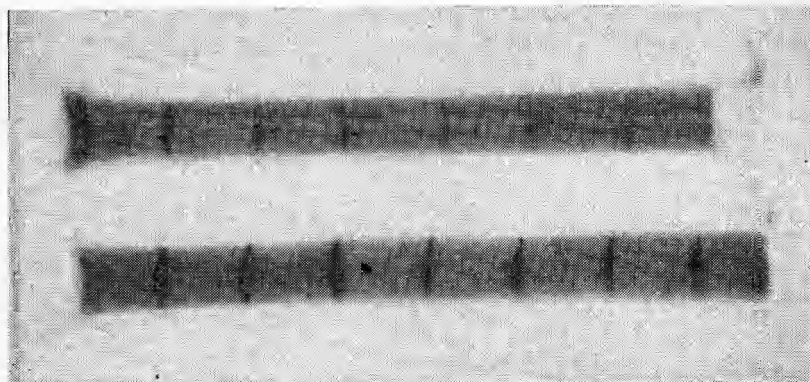


Рис. 3. Рентгенограмма образцов, спрессованных в режиме с образованием конической волны (а) и трехударной конфигурации (б).

| Тип ВВ | Толщина слоя ВВ, мм | Форма ударной волны | Плотность, % |
|-------------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Гексоген | 5 | Трехударная | — |
| | 7 | » | — |
| | 10 | » | — |
| Аммонит | 7 | » | 95 |
| | 10 | » | 95 |
| | 12 | » | 95,5 |
| Аммонит + селитра (1:1) | 10 | Коническая | 93,5 |
| | 15 | Трехударная | 96 |
| Аммонит + селитра (1:3) | 10 | Коническая | 87 |
| | 15 | » | 95 |

Примечание. Образцы, обжатые зарядом гексогена, не сохранились (разрушились).

ударно-волновой картины, наблюдаемой при этих параметрах. Начальная плотность порошка (плотность набивки) составляла 35% от теоретической плотности титана (4,505 г/см³).

Образцы, полученные в режиме конической волны, почти не имели радиальных и продольных трещин. При режимах с трехударной конфигурацией наблюдалось появление осевой полости, диаметр которой возрастает с увеличением параметров

ударного сжатия, а также фиксировалось образование радиальных и продольных трещин на образцах и даже их разрушение.

На рис. 4, а, б, в приведены фотограммы распределения плотности по сечению образца, спрессованного в режиме обжатия конической ударной волной. Видно, что плотность убывает от периферии к центру, в образцах с большей средней плотностью (рис. 4, б) наблюдается более равномерное распределение плотности по сечению. У всех образцов плотность периферийной зоны близка к 100%.

Для образцов, спрессованных в режиме обжатия с волной, имеющей трехударную конфигурацию, характер распределения плотности по сечению представлен на рис. 4, в. Образцы, спрессованные в этом режиме, имели внутреннюю полость, которой соответствует центральный участок фотограммы. Плавное (а не скачкообразное) изменение плотности до нулевого значения при переходе к зоне полости вызвано тем, что регистрирующий световой поток имеет определенную ширину и поэтому захватывает зону полости постепенно. Наблюдается некоторое уменьшение плотности от периферии к стенке внутренней полости. Плотность образцов, полученных в этом режиме, оказалась близкой к теоретической по всему сечению заготовки.

При исследовании дисков, вырезанных из одного и того же образца, было обнаружено, что характер изменения плотности и ее величина одинаковы для разных по высоте образца сечений. Равномерное распределение плотности по высоте образцов подтверждается также результатами исследования рентгенограмм продольных пластин.

В данной работе не удалось обнаружить разницы в характере ударно-волновой картины и течения за ударной волной при обжатии порошка двух различных фракций и губки титана. Для определения влияния размеров частиц обжимаемого материала (при равных начальной плотности и параметрах ударного обжатия) на характер ударно-волновой картины и течения за ударной волной, видимо, необходи-

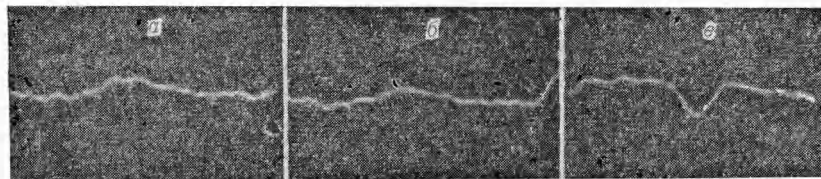


Рис. 4. Фотограммы распределения плотности по сечению образцов, спрессованных в режиме с образованием конической волны (а, б) и трехударной конфигурации (в).

мо в дальнейшем провести измерение массовой скорости частиц различных фракций за фронтом ударной волны и определить характер изменения массовой скорости во времени.

Полученный характер распределения плотности по сечению образцов соответствует характеру распределения массовой скорости и давления за фронтом ударной волны. Равномерное распределение плотности по высоте образцов можно объяснить стационарностью картины ударного обжатия цилиндрическим зарядом ВВ.

Представляет определенный интерес исследование возможности получения полой заготовки в результате обжатия сплошной цилиндрической ампулы с порошком в режиме с трехударной волной за счет выброса металла из осевой зоны заготовки. Вероятно, основной задачей при этом будет изыскание схем нагружения, предотвращающих появление трещин на заготовках.

В порошке и губке титана при их ударном сжатии цилиндрическим зарядом ВВ распространяется коническая ударная волна, которая при увеличении параметров ударного сжатия переходит в волну с трехударной конфигурацией. Диаметр плоского участка (диска Маха) трехударной волны возрастает при увеличении параметров нагружения. При ударном сжатии в режиме конической волны массовая скорость вещества за фронтом ударной волны уменьшается от периферии к центру ампулы. Массовая скорость вещества за плоским участком трехударной волны значительно превышает скорость вещества за коническими участками волны, что приводит в некоторых случаях к выбросу металла из осевой зоны ампулы и образованию осевой полости в образце.

На основании результатов проведенного исследования можно рекомендовать применение режимов ударного сжатия с образованием конической волны для получения сплошной цилиндрической заготовки с высокой плотностью из порошка методом взрывного прессования.

*Поступила в редакцию
14/VI 1973*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Ставер, М. П. Бондарь. В сб. «Динамика сплошной среды», вып. V. Новосибирск, ИГ СО АН СССР, 1971.
2. G. R. Fowles, W. M. Isbell. J. Appl. Phys., 1965, 36, 4.
3. Г. А. Ададунов, А. Н. Дремин и др. ФГВ, 1967, 3, 2.
4. А. А. Дерibas, А. М. Ставер. В сб. «Динамика сплошной среды», вып. IX. Новосибирск, ИГ СО АН СССР, 1971.

УДК 534.222.2 : 662.215

ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ В УДАРНЫХ ВОЛНАХ. ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ЯВЛЕНИЯ

*Е. З. Новицкий, В. В. Колесников, Р. В. Ведринский
(Москва)*

Результаты исследования ударно-волновых свойств и деполяризации пьезокерамики (ПК) ЦТС-19 изложены в [1]. В этой работе было экспериментально показано, что от выбора параметров измерительной цепи (R — активное сопротивление, L — индуктивность) существенным