

Рис. 4. Среда — ВВ. Путь, пройденный ДВ после иницирования, равен 70 мм.

1 — отраженное от зазора возмущение; 2 — начальное положение зазора (0,3 мм со свинцовой фольгой 20 мкм); 3 — смещенная плоскость зазора; 4 — фронт ДВ.

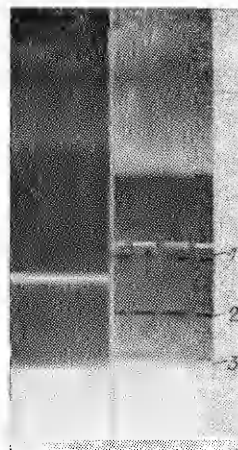


Рис. 5. Среда — алюминий. Давление в ударной волне 21 ГПа, зазор 1 мм.

1 — отраженное от зазора возмущение; 2 — положение фронта ударной волны; 3 — граница алюминия.

Последние регистрировались обычным методом фольг [4, 7] достаточно глубоко за фронтом ДВ. Такая методическая возможность использована для разработки способа определения c [6]. Результаты расчета скоростей звука и сравнение с данными [7] для того же взрывчатого состава приведены в таблице.

Регистрация возмущений, возникающих при взаимодействии УВ в инертных преградах из оргстекла и алюминия, менее показательна. Без контрастирующих прослоек в зазорах их следы не регистрируются. Значительно менее резко и только при относительно больших зазорах (≥ 1 мм) видна обратная волна разрежения в алюминии (рис. 5). Несколько лучше картина регистрируется в оргстекле, однако и в данном случае определение с оказывается неточным из-за сильно размытых границ отраженного от зазора возмущения.

Наблюдаемые различия в особенностях развития возмущений после прохождения УВ и ДВ через зазоры связаны, по-видимому, со спецификой формирования и распространения волн разрежения и сжатия в ПВ как реагирующей среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альшуглер Л. В., Петруни А. П. ЖТФ, 1961, 31, 6, 717.
2. Rivard W. C., Venable D., Fickett e. a. 5-th Symp. on Detonation, 1970.
3. Davis W. C., Venable D. Ibid.
4. Дорохин В. В., Зубарев В. Н., Орехин Ю. К. и др. ФГВ, 1985, 21, 4, 100.
5. Цукерман В. А., Манакова М. А. ЖЭТФ, 1957, 27, 2, 391.
6. Панов Н. В., Зубарев В. П., Дорохин В. В. ГКИО, 1985, 19, 242.
7. Зубарев В. Н. ПМТФ, 1965, 2, 54.

Поступила в редакцию 20/VI 1986

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ ПОРОШКОВ

В. Ф. Нестеренко, С. А. Першин, Е. Д. Табачникова

(Новосибирск, Харьков)

В настоящее время импульсное прессование взрывом аморфных порошков с целью получения объемных изделий наиболее перспективно [1], но объем данных по свойствам таких материалов мал, в том числе по их механическим характеристикам. В таблице приведены сравнитель-

Материал	σ_f , ГПа		σ_t , ГПа		H_v , ГПа [2]	
	Проволо- ка	Монолит	Лента	Монолит	Лента	Монолит
$Pd_{77,5}Cu_{6,0}Si_{16,5}$	1,54 [3]	1,55 [2]	1,54 [2]	—	4,9	4,9
$Ni_{57}Mo_{23,5}Fe_5B_{10,5}$	—	—	—	—	10,8	10,8
$Ni_{59,5}Mo_{30}B_{10,5}$	—	—	—	—	11,6	11,6
$Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$	—	1,75 [2]	4,42 [5]	2,21 [4]	6,3	6,3
$Co_{70,3}Fe_{4,7}Si_{15}B_{10}$	—	1,5 [6]	3 [6]	—	—	—

ные данные по механическим свойствам некоторых металлических стекол в виде образцов, полученных компактированием, а также лент и проволок. Видно что микротвердость объемных материалов высока и совпадает с микротвердостью аморфных лент. Сравнение прочности показывает совпадение ее значений у прессовок, лент и проволоки, сделанных закалкой из расплава $Pd_{77,5}Cu_{6,0}Si_{16,5}$ [2, 3], ее уменьшение в объемных образцах (как при сжатии, так и при их растяжении) по сравнению с аморфной лентой в сплавах $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$ [2, 4, 5] и $Co_{70,3}Fe_{4,7}Si_{15}B_{10}$ [6].

Причины такой неоднозначности нуждаются в выяснении. Ясно, что уменьшение прочности на сжатие σ_f у образцов, спрессованных в импульсном режиме, связано с неомогенностью компактов. Кроме того, температурные воздействия при таком прессовании приводят к частичному отжигу материала порошка, что может быть причиной охрупчивания образца. Однако склонность к этому процессу зависит от состава аморфного сплава. В частности установлено [7], что тройные сплавы более склонны к охрупчиванию, чем бинарные. Так, при отжиге аморфного сплава $Pd_{32}Si_{18}$ этого эффекта не наблюдалось [8], как и при понижении температуры (ниже 300 К). Известно [9], что аморфные ленты при $T < 300$ К ведут себя различным образом: в ряде сплавов при некоторых температурах резко уменьшается прочность при растяжении σ_t , а другая группа сплавов остается пластичной вплоть до $T = 4,2$ К. Температурная зависимость прочности объемных образцов, полученных импульсным компактированием, не исследована ни в одной из известных нам работ.

В данной работе ставилась задача — выяснить соотношения между прочностью аморфной ленты на растяжение и прессовок на сжатие, а также их зависимость от температуры в интервале $T = 300 \div 4,2$ К для сплавов 71КНСР (Co—Ni—Fe—B—Si) и Vitrovac0080 (Ni—Si—B). Выбор для исследования образцов этих сплавов связан с тем, что в виде ленты они обладают качественно различным поведением: первый охрупчивается при понижении T , а второй остается пластичным.

Образцы получали взрывным компактированием порошков по цилиндрической схеме с центральным стержнем. Особенность такого процесса заключается в том, что давление прессования по сечению образца распределено неравномерно [10]. Поэтому использование одного значения давления для характеристики амплитуды ударной волны в этом случае неправомерно. С другой стороны, если отсутствует нерегулярное отражение, то в качестве характеристики процесса [11, 12] используется давление за фронтом детонационной волны

$$p = \rho_0 D^2 / (k + 1),$$

где ρ_0 , D , k — плотность, скорость детонации и показатель политропы ВВ. Величина p позволяет описать зависимость конечной плотности от давления, согласующуюся со статической кривой, и выявить корреляцию между твердостью материала порошка и требуемым давлением для полного компактирования, хотя по своему существу p скорее технологический параметр. При оценке амплитуды волны, входящей в порошок,

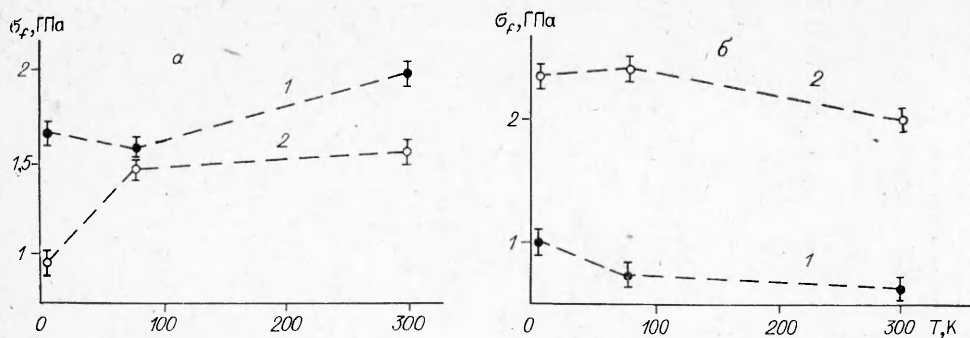


Рис. 1. Температурная зависимость прочности объемных образцов при сжатии (1) и аморфных лент при растяжении (2) в сплавах 71KHCP (а), Vitrovac0080 (б).

можно считать ее давление $p_n \approx p/2$. Использовались два режима прессования $p = 6$ и 5 ГПа соответственно для 71KHCP и Vitrovac0080. Плотность полученных образцов составляла $98 \pm 0,5\%$ от теоретической.

Следует отметить, что процесс прессования сопровождался локализованной сдвиговой деформацией, которая характерна для импульсного компактирования порошков быстрозакаленных сплавов [13]. В [13] рассмотрена зависимость параметров локализованной деформации от условий нагружения по данным металлографических исследований шлифов поверхностей, перпендикулярных оси цилиндрического образца. В данной плоскости направление сдвига составляет примерно 45° к касательной поверхности цилиндра. Для режимов, использованных в настоящей работе, число сдвигов составляло 36–38, их амплитуда — 150–200 мкм.

Компакты имели форму полых цилиндров с толщиной стенки 3 мм. Из них электроискровым способом вырезались образцы размером $1,8 \times 3 \times 4,3$ мм. Образцы в виде лент имели сечения $10,5 \times 0,032$ мм для Vitrovac0080 и $19 \times 0,03$ мм для 71KHCP и длину рабочей части около 30 мм. Сжатие объемных аморфных материалов и растяжение лент производились на деформационной машине с жесткостью около 10^4 Н/м с постоянной скоростью 0,133 мм/мин при $T = 4,2 - 300$ К. Кривые деформации (σ , ϵ) регистрировались вплоть до разрушения. Разрушающее нормальное напряжение σ_f (σ_t) находилось как отношение F/S (F — разрушающая нагрузка; S — площадь первоначального поперечного сечения). Точность измерения нагрузки $\pm 0,4$ Н, деформации $\pm 10^{-4}$. С помощью сканирующего электронного микроскопа проводился фрактографический анализ излома образцов, продеформированных при разных температурах.

При испытании на сжатие объемных образцов деформационные кривые $\sigma(\epsilon)$ имеют линейный характер, близкий к упругому вплоть до напряжений, при которых происходит быстрое разрушение. На рис. 1 приведены температурные зависимости прочности аморфных лент на растяжение и объемных образцов на сжатие.

Для сплава 71KHCP достигнуты высокие значения σ_f , превосходящие при всех температурах величины σ_t , характерные для ленты. Несмотря на сравнительно низкие прочностные свойства ленты из 71KHCP, значения σ_f превосходят полученные для более прочного (в виде ленты) сплава $\text{Co}_{70,3}\text{Fe}_{4,7}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ (см. таблицу) [6]. Данное различие может быть обусловлено более интенсивной пластической макродеформацией образцов при прессовании в цилиндрической схеме нагружения, используемой в настоящей работе, по сравнению с макродеформацией образцов при плоском нагружении в обойме [6]. На фрактограмме излома образца (рис. 2), нагруженного при $T = 300$ К, отчетливо заметны следы локализованной сдвиговой деформации внутри отдельной частицы порошка. Также видно, что образцы содержат микротрещины и участки с плохим качеством соединения между частицами, служащие причиной уменьшения прочности.

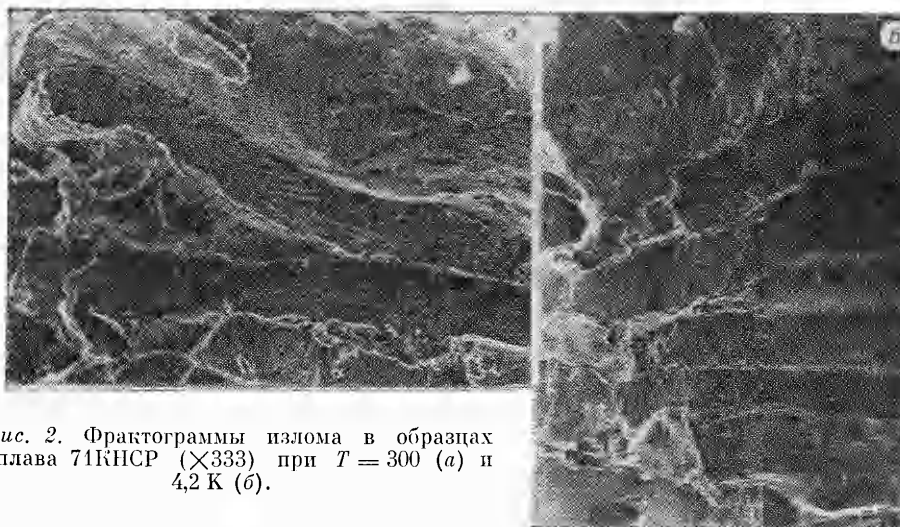


Рис. 2. Фрактограммы излома в образцах сплава 71КНСР ($\times 333$) при $T = 300$ (а) и $4,2$ К (б).

Ход температурной зависимости предела прочности на сжатие компактированного образца повторяет в общих чертах температурную зависимость прочности ленты. Превышение σ_j для объемных образцов по сравнению с σ_t для ленты отмечается во всем исследованном температурном интервале и наиболее ярко выражено в крайних точках. Падение прочности при понижении T от 300 до 77 К отражает переход от квазивязкого разрушения к хрупкому, наблюдаемый как в объемных образцах, так и в лентах.

Как видно из рис. 1, б, в компактированном сплаве Vitrovac0080 достигнуть высокой прочности при сжатии не удастся. Величины σ_j намного ниже, чем σ_t в ленте для всех исследованных T . Однако температурные ходы σ_j и σ_t имеют подобный характер — не уменьшаются при понижении температуры, что свидетельствует о сохранении пластичности в материале и отсутствии перехода к хрупкому разрушению. Макроскопические черты разрушения образцов при сжатии также подтверждают этот вывод: поверхность разрушения после деформации сжатием составляет угол, близкий к 45° по отношению к оси сжатия образца, т. е. к плоскости максимальных касательных напряжений. Фрактографические исследования, однако, указывают на наличие в образцах отдельных участков хрупкого разрушения, связанных с отжигом при компактировании. Причины низкой прочности при сжатии в этом сплаве (при сохранении пластичности), возможно, обусловлены низким давлением компактирования.

Таким образом, в работе получены объемные образцы сплавов 71КНСР и Vitrovac0080, имеющие плотность 98% от монолита. В сплаве 71КНСР прочность на сжатие превышает прочность на растяжение соответствующей ленты во всем температурном интервале 300—4,2 К. Характеры температурной зависимости прочности и разрушения в компактированных образцах и в лентах совпадают: в сплаве 71КНСР с понижением температуры происходит переход от квазивязкого разрушения к хрупкому, а сплав Vitrovac0080 сохраняет пластичность. Несмотря на наличие трансчастичных локализованных сдвигов в компакте, с амплитудой 150—200 мкм сохраняется его высокая прочность на сжатие, превышающая для сплава 71КНСР прочность на растяжение ленты.

В заключение выражаем благодарность Е. Б. Корольковой за помощь при проведении измерений, а В. З. Бенгусу за полезные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Несгеренко В. Ф. ФГВ, 1985, 21, 6, 85.
2. Cline C. F. Dynamic compaction of RST powders. Preprint Livermore Lab. UCRL-85796. Aug. 5, 1981.

3. Pampillo C. A., Chen H. S. Mater. Sci. Eng., 1974, 13, 181.
4. Morris D. G. J. Mater. Sci., 1982, 17, 1789.
5. Krenitsky D. J., Ast D. B. J. Mater. Sci., 1979, 14, 275.
6. Toda Y. e. a. Sci. Rep. RITU, Sendai, Japan., 1985, 32, 2, 267.
7. Нагумо и др.— В кн.: Быстрозакаленные металлы.— М.: Металлургия, 1983.
8. Taub A. I., Spaeren F. Acta Met., 1980, 28, 1781.
9. Табачникова Е. Д.— В кн.: Структура и свойства аморфных сплавов.— Устинов, 1985.
10. Wilkins M. L., Cline C. F. Тр. II совещ. по обработке материалов взрывом.— Новосибирск, 1982.
11. Prümmer R. 19-th Univ. Conf., Nov. 8—9, Raleigh, NC State Univ., 1982.
12. Prümmer R.— В кн.: Высокоэнергетическое воздействие на материалы.— Новосибирск, 1986.
13. Нестеренко В. Ф., Першин С. А. ФГВ, 1987, 23, 5.

*Поступила в редакцию 24/IV 1987,
после доработки — 24/VII 1987*

МЕТАНИЕ ПЛАСТИН СЛОЯМИ СМЕСЕВЫХ ВВ

*Ю. П. Бесшапошников, В. Е. Кожевников, В. И. Чернухин,
В. В. Пай*

(Свердловск, Новосибирск)

При сварке взрывом очень важен вопрос определения основных параметров процесса. Согласно общепринятой концепции, это угол соударения γ и скорость точки контакта v_k [1]. На практике, как правило, применяется схема с параллельным расположением основания и метаемой пластины. В этом случае $v_k = D$ и $\gamma = \beta$, где D — скорость детонации, а β — угол поворота. Таким образом, задача сводится к нахождению β и D .

В работах [2, 3] представлены результаты экспериментальных исследований профиля метания пластин слоями трех типов взрывчатых веществ (ВВ) и определены интегральные показатели политропы k продуктов детонации (ПД): для гексогена — 2,8; аммонита 6ЖВ — 2,5 и для смеси 6ЖВ с гранулированной аммиачной селитрой в соотношении 1/4—2,2. В [2] приведена интерполяционная формула для β , дающая неплохое совпадение с экспериментом.

К сожалению, ВВ, исследованные в [2, 3], имеют довольно высокое значение D , поэтому не нашли широкого применения. При сварке взрывом крупногабаритных деталей в основном используются промышленные ВВ, такие как аммониты АТ-1 и А-2Г, а также смеси аммонита 6ЖВ с аммиачной селитрой в различных соотношениях. Часто с целью получения прочного соединения определенных пар металлов возникает необходимость использования смесей 6ЖВ с поваренной солью, тальком и другими компонентами. В литературе пока нет данных по метанию пластин перечисленными ВВ, что затрудняет их применение и сдерживает внедрение в производство сварки взрывом.

В настоящей работе по реостатной методике измерялись профили метания пластин и определялись интегральные показатели политропы k для ПД следующих ВВ насыпной плотности: аммониты АТ-1 и А-2Г, смеси аммонита 6ЖВ с NaCl (соль «Экстра»), тальком (применяемым для РТИ, ГОСТ 19279-74), с аммиачной селитрой марки ЖВ (АСЖВ), с АТ-1 и А-2Г. Эксперименты проводились по схеме, отличающейся от описанной в [3] тем, что D измерялась методом контактных датчиков [5] с использованием частотомеров ЧЗ-34. Начало процесса метания пластины отмечалось на осциллограмме ступенькой, которую обеспечивала небольшая петля из нихромовой проволоки, соединенная одним концом с датчиком в точке О, другим — с заземленной пластиной (см. рис. 1). Точка О изолирована от пластины тонкой прокладкой из фторопласта толщиной 0,03 мм. Типичная осциллограмма представлена на рис. 2, а, где по горизонтали отложено время, по вертикали — напряжение на концах дат-