

Рассмотренный эффект зависимости критических параметров инициирования твердых ВВ от прочности образцов следует учитывать при анализе чувствительности смесевых ВВ, в том числе смесей с жидкими компонентами. Известно [7], что введение легкотекучей добавки в количестве нескольких процентов к твердому ВВ снижает прочность зарядов смеси на 30—50 %, что по (5) должно привести к снижению $P_{кр}$ на 7—15 %. Отсюда следует, что если для вторичных твердых ВВ $P_{кр} = 600 \div 800$ МПа, то полученные на их основе неотвержденные пастообразные составы, характеризующиеся величиной эффективной прочности σ в 5—10 раз меньшей, чем у твердых ВВ, могут иметь $P_{кр} = 300 \div 400$ МПа. Этот эффект снижения $P_{кр}$ обусловлен только уменьшением σ и совершенно не связан с химическим взаимодействием в смесевой системе, которая также независимо влияет на снижение величины $P_{кр}$ [9].

Итак, на примере октогена проанализировано влияние прочности заряда на характер разрушения и параметры воспламенения твердых ВВ при ударе на копре. На основе предположений о нормальном законе распределения значений прочности зарядов ВВ, испытываемых на чувствительность к удару, выполнены расчеты кривых частоты взрывов для типичных условий проведения копровых экспериментов. Показана возможность понижения критического давления возбуждения взрыва при введении в ВВ малопрочной текучей флегматизирующей добавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Г. Т., Боболев В. К. Иницирование твердых ВВ ударом.— М.: Наука, 1968.
2. Дубовик А. В., Лисанов М. В. Расчет критических параметров инициирования твердых ВВ ударом на копре // ФГВ.— 1985.— 21, № 4.— С. 87.
3. Дубовик А. В., Лисанов М. В., Авдеев Е. А. Расчет параметров инициирования твердых энергетических веществ с учетом локализации пластической деформации при ударе // Хим. физика.— 1986.— 5, № 4.— С. 539.
4. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел.— М.: Наука, 1964.— С. 487.
5. Авдеев Е. А., Дубовик А. В. Влияние скорости нагружения на параметры разрушения и воспламенения тонких слоев твердых энергетических веществ // Хим. физика.— 1988.— 7, № 5.— С. 688.
6. Дубовик А. В., Лисанов М. В. Воспламенение жидких веществ при выдавливании в отверстие. I. Теоретический анализ процесса // ФГВ.— 1985.— 21, № 6.— С. 3.
7. Карпухин И. А., Боболев В. К. Влияние флегматизатора на возбуждение и развитие взрыва ВВ при ударе // ФГВ.— 1967.— 3, № 4.— С. 485.
8. Максимов Ю. Я. Термическое разложение гексогена и октогена // Теория ВВ: Тр. МХТИ.— М.: Высш. шк., 1967.— Вып. 53.
9. Боболев В. К., Карпухин И. А., Балинец Ю. М. и др. О некоторых особенностях возбуждения взрыва ударом и детонационной способности смесей окислитель—горючее // ФГВ.— 1979.— 15, № 2.— С. 140.

г. Москва

Поступила в редакцию 8/VI 1990

УДК 621.7.044.2

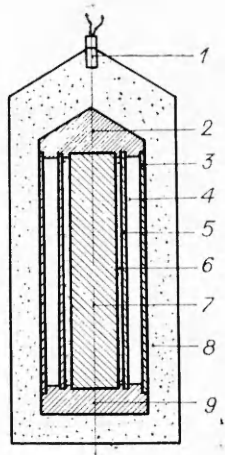
*В. Ф. Нестеренко, С. А. Першин, Б. В. Фармаковский,
А. П. Хинский, С. Н. Золотарев, Н. А. Усищев, С. Н. Новиков*

ВЗРЫВНОЕ КОМПАКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ИЗ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ

Исследованы свойства и методы получения композиционных изделий на основе аморфных магнитомягких сплавов. С применением энергии взрыва изготовлены магнитные головки, экраны и магнитопроводы. Проведенные измерения эксплуатационных характеристик позволяют надеяться на применение взрывной технологии для получения этих изделий.

Рис. 1. Схема взрывного компактирования электромагнитных цилиндрических экранов.

1 — электродетонатор; 2 — заглушка верхняя; 3 — оболочка контейнера; 4 — экранирующий материал; 5 — внутренняя втулка; 6 — вода; 7 — металлический стержень; 8 — взрывчатое вещество; 9 — заглушка нижняя.



Аморфные ферромагнетики, полученные закалкой из жидкого состояния, представляют собой новый класс материалов с уникальным комплексом физических, химических и механических характеристик. Во всем мире ведутся интенсивные работы по внедрению аморфных магнитомягких сплавов в промышленное производство трансформаторов, магнитных и электронных устройств. Принципиальной особенностью получения аморфных сплавов является малость одного из размеров изготавливаемых материалов (<50 мкм). Это ставит задачу создания методов получения из них объемных изделий, например механической сборной фольг либо компактированием порошков из этих материалов.

Первым примером получения монолитных изделий из аморфных порошков с сохранением их исходной структуры было прессование взрывом сплава $Pd_{77,5}Cu_6Si_{16,5}$ [1]. Этот метод обладает рядом особенностей, делающих его применение перспективным для компактирования порошков быстрозакаленных сплавов. В [2] проанализированы возможности этого метода и отмечена явная недостаточность исследований свойств получаемых изделий. В [3] впервые сообщается о возможности получения плотных и прочных компактов из фольг аморфных материалов. В настоящей работе приводятся результаты исследования свойств изделий, полученных взрывным компактированием порошков и фольг аморфных магнитомягких сплавов.

Слабая зависимость экранирующих свойств магнитомягких аморфных материалов от механических деформаций и напряжений, а также высокая магнитная проницаемость делает их перспективными для использования в качестве элементов электромагнитных экранов. Принципиальная схема компактирования цилиндрических экранов представлена на рис. 1. В качестве экранирующего материала применялся сплав с нулевой константой магнитострикции на основе Co в композиции с медью. Взрывчатые вещества — аммонит 6ЖВ и смесь его с селитрой имели скорости детонации 2,0—4,5 км/с.

Получены цилиндрические экраны (рис. 2) размером $27,4 \times 1,7$ мм, $l = 52$ мм, в которых в качестве экранирующего слоя использовались

Т а б л и ц а 1

Состояние экрана	μ_0	μ_{\max}	H_c , А/м	B_r , Тл
Без термообработки	230—290	730—1100	10,5—11,2	$(16—25) \cdot 10^{-3}$
Термообработка, 500 °С, 1 ч	2200	6680	1,5	$2 \cdot 10^{-3}$

П р и м е ч а н и е. μ_0 — начальная магнитная проницаемость; μ_{\max} — максимальная магнитная проницаемость; H_c — коэрцитивная сила; B_r — остаточная индукция после намагничивания в поле 4 Э.

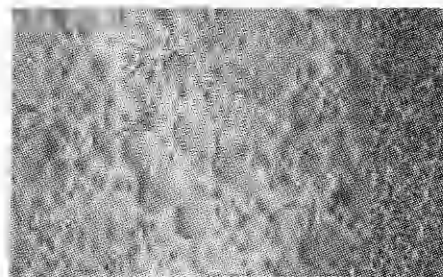
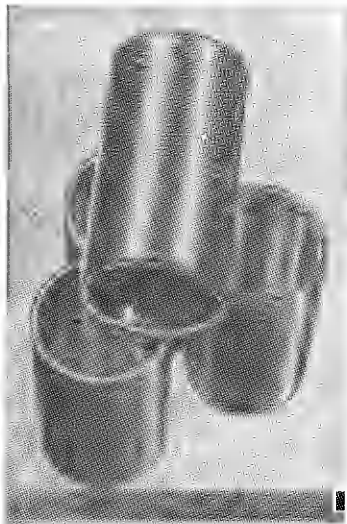


Рис. 3. Структура экрана в зоне расплава; $\times 500$.

Рис. 2. Многослойные электромагнитные экраны на основе фольг аморфных сплавов.

порошковые материалы (фракции меди — 30 мкм, сплава 100—150 мкм) или фольги толщиной 15 и 26 мкм соответственно меди и Со — сплава шириной 50 мм. Магнитные свойства экранов приведены в табл. 1.

Взрывное компактирование позволяло получать одновременно 10 заготовок магнитных экранов из одной сборки. Порошковый материал давал толщину экранирующего слоя после компактирования 1 мм, фольги — 0,6 мм. Плотность компактов в обоих случаях $>97\%$ от теоретической. Измерения коэффициента экранирования k проводили в поле 4 Э частотой 50 Гц. Для порошковых экранов сразу после компактирования $k = 5$, что соответствовало величине экранирования исходного экрана с насыпной плотностью порошка. Величина k не изменялась при нагружении сборки давлением $p = 2 \div 5,7$ ГПа, хотя в массиве экрана при высоких давлениях компактирования обнаружены переплавленные зоны со структурой в виде аморфных глобулей в объеме меди (рис. 3) (здесь p — давление детонации).

Коэффициент k для фольговых экранов уменьшается после компактирования с 20 до 15. При $p > 6$ ГПа происходит резкое падение k до 5 вследствие появления расплавов, как и для порошковых компактов. Чувствительность коэффициента экранирования к режиму компактирования экрана, возможно, связана не только с наличием переплавленной зоны материала, но и с присутствием в массиве компакта сети многочисленных полос локализованных сдвигов, которые при жестких режимах нагружения могут развиваться в микротрещины [3].

Наличие пластичной меди в экране служит своего рода демпфирующей прокладкой, как и в случае с порошками [4], позволяющей значительно ослабить локализацию. Например в эксперименте, при котором наблюдалось катастрофическое разрушение компакта из фольг с амплитудой сдвига [3] более 150 мкм, использование прослоек меди позволило уменьшить амплитуду последнего до 40 мкм и сохранить прочность экрана.

Попытки провести термообработку экранов в режимах, рекомендуемых для используемых фольг, не привели к ожидаемым результатам, а наоборот ухудшили его экранирующую способность. Вероятно, это связано со спецификой ударно-волновой обработки, приводящей к модификации свойств материала. Проведенная специальная ступенчатая термоманнитная обработка на воздухе позволила добиться увеличения k до 100. При этом прочность экрана достаточна, чтобы использовать его в качестве конструкционного элемента прибора, в котором применяется данный экран.

Магнитная головка — один из основных узлов аппаратов магнитной записи, от параметров которой во многом зависит качество всей ап-

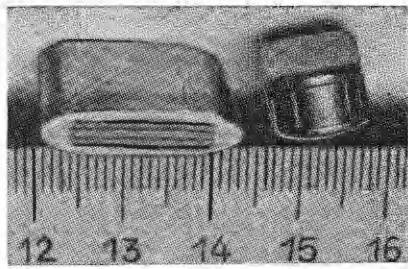


Рис. 4. Рабочая поверхность полюсных наконечников магнитных головок (заготовка).

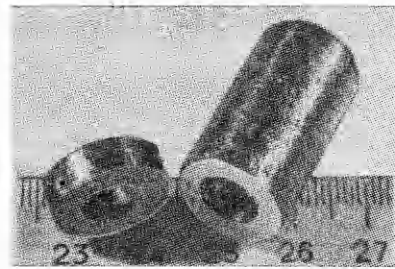


Рис. 5. Магнитопроводы из фольг, полученные с применением взрыва.

паратуры. У применяемых материалов для этой цели должны быть высокие индукции насыщения и значения проницаемости. Малая коэрцитивная сила H_c необходима для того, чтобы уменьшить до предела петлю гистерезиса магнитной головки при записи и воспроизведении. Вихревые токи минимальны у материала с достаточно высоким удельным электрическим сопротивлением. Величина магнитострикции должна быть минимальной, так как движущаяся по головке магнитная лента индуцирует электрический шум благодаря магнитному полю, проникающему через зазор головки. Большое значение придается износостойкости материала, из которого изготовлены сердечники магнитной головки.

В обычной схеме со скользящей детонацией из аморфных порошков, полученных дроблением ленты сплава на основе Fe, были спрессованы пластины размером $3 \times 20 \times 120$ мм, плотностью $7,12 \text{ г/см}^3$, что составляло 98 % от плотности исходных фольг. Прочность на сжатие таких компактов — $1,2 \div 1,5$ ГПа, микротвердость $\sim 1100 \text{ кг/мм}^2$. Из спрессованных пластин электроэрозионным способом вырезались сердечники магнитных головок, а плоскости разъема обрабатывались на плоскошлифовальном станке.

Удельное сопротивление материала головки было выше, чем у исходной фольги (2 и $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ соответственно). Индукция насыщения составляла 1 Тл. Непосредственно после компактирования $\mu_0 = 500$, после термообработки в магнитном поле ~ 1200 , что однако, недостаточно для использования этого материала в качестве сердечников магнитных головок. Измерения проводили на рабочих частотах устройства 80—300 кГц. Ресурс эксплуатации таких головок значительно превышает 5000 ч [5].

Спрессованные из быстрозакаленного порошка сплава «Сендаст» пластины имели плотность $6,75 \text{ г/см}^3$, микротвердость 560 кг/мм^2 . После взрывного компактирования коэрцитивная сила пластин составляла 900 А/м, индукция насыщения — 0,96 Тл. Дальнейшая термообработка не привела к существенному улучшению характеристик, особенно уменьшению коэрцитивной силы, что не позволило, как и для аморфного сплава, использовать эти компакты в качестве заготовок для магнитных головок.

На рис. 4 показана рабочая поверхность полюсных наконечников для многодорожечных магнитных головок. Они получены по способу, включающему в себя механическую сборку фольг и взрывное компактирование их. Отметим, что использовать в этом случае термин «сварка взрывом», неверно, так как условие на сварку фольг между собой выполняется лишь в локальных местах изделия, расположенных хаотично, однако позволяющих сохранять достаточно высокую прочность компакта. Плотность полученных заготовок составляла 99 % от теоретической, прочность 0,4 ГПа. Полюсные наконечники, изготовленные таким способом, позволяют повышать точность формирования рабочих зон (дорожек), что при значительном упрощении технологии получения дает

Таблица 2

Материал	ρ , г/см ³	σ_f , ГПа	H_v , ГПа	B_s , Тл	H_{cs} , А/м	μ_0	μ_{max}
Исходная фольга (номинальные свойства) [7]	7,5	1,5	11	0,5	0,8	20 000	150 000
Компакт из фольг (термообработка) [7]	7,47	0,4	11	0,59	0,32	12 000	145 000
Прессовка из порошков (термообработка) [5, 6]	7,35	0,4	11	0,28	5,7	3 000	12 000

Примечание. ρ — плотность материалов; σ_f — прочность на растяжение для фольги и на сжатие для компактов; H_v — микротвердость; H_{cs} , B_s — коэрцитивная сила и индукция в магнитном поле напряженностью 8 Э.

увеличение плотности записи (количества дорожек). Хорошие механические характеристики компактов позволяют надеяться на достижение требуемых свойств магнитных головок (наконечников) при использовании аморфных порошков, полученных непосредственно из расплава, а не дроблением лент.

В табл. 2 приведены данные по магнитным и механическим свойствам тороидов одного размера, спрессованных из порошков и фольг [7] аморфного сплава на основе Со. Для сравнения приводятся номинальные характеристики фольги исходного материала. Свойства компактов измерялись после режима оптимальной термообработки для исходной фольги, и в табл. 2 показаны наилучшие достигнутые результаты.

В [7] также приводятся магнитные характеристики компактов из аморфной стали, имеющих электроизоляционное покрытие между фольгами и без него. Наилучший результат оказался при покрытии одной из поверхностей фольги суспензией окиси магния. Удалось достичь индукцию насыщения в поле 30 А/м, такую же, как для тороида, полученного традиционным способом навивки (1,43 Тл). Коэрцитивная сила при этом составляла 0,45 Э. Однако, как видно из приведенных данных, потери на перемагничивание довольно высоки и превышают потери в того тороида примерно в 6 раз.

В последнее время авторами проведены исследования, в которых отмечено существенное повышение потерь на перемагничивание с увеличением давления компактирования тороидов. Это связано, по-видимому, с ростом числа адиабатических сдвигов в компакте, что расширяет площадь металлического контакта в местах локализации и уменьшает электросопротивление компакта в целом.

В настоящее время изготовлены компакты из аморфного сплава на основе Со (рис. 5), у которых потери на перемагничивание приближаются к эталонному витому образцу. После термообработки (430 °С, 30 мин) в поперечном магнитном поле индукция насыщения составляла 1,47 Тл, что даже выше, чем у эталона. Коэрцитивная сила составляла 1 А/м. Отмечается хорошая линейная зависимость кривой намагничивания вплоть до 0,4 Э, что очень важно для ряда применений. Неудовлетворительные магнитные свойства компактов из порошков могут быть связаны с существенно большей их удельной поверхностью по сравнению с фольгами (соответственно $\sim 10^4$ и ~ 2 м²/кг). Уже в процессе размол фольг в порошок на поверхности частиц образуются кристаллы и происходит частичное окисление. Часть воздуха, находящегося в порах, при компактировании растворяется в оплавленной зоне поверхности частиц. Это приводит, например, к увеличению сопротивления прессовки и другим явлениям, связанным с неоднородностью материала на границе частиц.

Наличие сети адиабатических сдвигов в каждой отдельной частице, образующейся при интенсивном размолу, может также быть причиной изменения магнитных характеристик прессовки. Следствием этого явления, происходящего в еще большей степени при динамическом дефор-

мировании аморфных материалов, является, по-видимому, и тот факт, что термообработка компакта с целью оптимизации магнитных свойств ведется в несколько ином режиме, чем для исходной фольги.

* *
*

С применением взрыва получены изделия из аморфных магнитомягких металлических сплавов, которые наряду с простотой технологии изготовления и высокими магнитными характеристиками обладают высокой конструкционной прочностью. Эксплуатационные свойства изделий из фольг аморфных сплавов значительно превосходят свои порошковые аналоги. Изготовление компактов взрывом с удовлетворительными магнитными характеристиками возможно лишь из порошков, полученных непосредственно из расплава, а не дроблением аморфных лент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cline C. F., Hopper R. W. Explosive fabrication of rapidly quenched materials // Scripta Metallurgica.— 1977.— 11.— P. 1137—1138.
2. Нестеренко В. Ф. Возможности ударно-волновых методов получения и компактирования быстрозакаленных материалов // ФГВ.— 1985.— 19, № 6.— С. 85—89.
3. Першин С. А., Нестеренко В. Ф. Локализация сдвиговой деформации при импульсном компактировании фольг быстрозакаленных сплавов // ФГВ.— 1988.— 24, № 6.— С. 120—123.
4. Нестеренко В. Ф., Першин С. А. Локализация деформации при прессовании взрывом быстрозакаленных металлических порошков // ФГВ.— 1987.— 23, № 5.— С. 159—166.
5. Взрывное компактирование быстрозакаленных материалов для электромагнитных применений (Отчет о НИР)/СКБ ГИТ; Рук. работы Нестеренко В. Ф., Першин С. А.— ТР01860022255.— Новосибирск, 1982.
6. Дерибас А. А., Нестеренко В. Ф., Першин С. А. Методы импульсного компактирования быстрозакаленных материалов для электромагнитных применений // Судостроит. пром-ть. Сер. Металловедение, Металлургия.— 1987.— Вып. 5.— С. 86—90.
7. Взрывные компакты из аморфных магнитомягких сплавов/С. Н. Золотарев, О. И. Денисова, В. Ф. Нестеренко, С. А. Першин, А. Н. Лазариди // Высокоэнергетическая обработка быстрозакаленных материалов и высокотемпературных сверхпроводников: Сб. тр. Междунар. семина., Новосибирск, 10—14 окт. 1988 г.— Новосибирск.— 1989.— С. 97—112.

гг. Новосибирск, Ленинград,
Москва

Поступила в редакцию 29/III 1990

УДК 541.11 + 536.4 + 620.18

*Б. А. Воинов, Б. А. Надыкто, С. А. Новиков,
Л. М. Синицына, И. А. Ткаченко, Н. А. Юкина*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОХРАНЕННЫХ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ ИМПУЛЬСНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований целого ряда материалов, сохраненных после нагружения ударными волнами в системах с цилиндрическим и сферическим обжатием медных ампул.

Для сохранения образцов после нагружения ударными волнами (УВ) в области высоких давлений обычно используются взрывные устройства, в которых вещество сжимается системой УВ в цилиндрической ампуле с помещенными в ней образцами. Система трех УВ (тришок) образуется при скользящей детонации слоя взрывчатого вещества на поверхности амплитуды. Длительность действия давления на исследуемое вещество определяется шириной фронта УВ и составляет доли микросекунды.