

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Ададуrow и др. Докл. АН СССР, 1965, **165**, 4.
2. П. А. Ямпольский и др. Высокомолекул. соед., 1968, **A10**, 4.
3. Л. В. Бабарэ, А. Н. Дремин и др. ФГВ, 1969, **5**, 4.
4. И. Н. Дулин, В. Н. Зубарев и др. ХВЭ, 1969, **3**, 4.
5. Л. В. Бабарэ, А. Н. Дремин и др. Докл. АН СССР, 1969, **184**, 5.
6. Г. А. Ададуrow, В. В. Густов и др. ФГВ, 1972, **8**, 4.
7. В. А. Веретенников, А. Н. Дремин, А. Н. Михайлов. ФГВ, 1966, **2**, 3.
8. R. D. Dick. J. Chem. Phys., 1970, **52**, 12.
9. O. V. Yakusheva, V. V. Yakushev, A. N. Dremim. High Temperatures — High Pressures, 1971, **3**, 3.
10. И. Н. Дулин, В. Н. Зубарев и др. ЖФХ, 1973, **47**, 4.
11. Л. В. Альтшулер, Л. В. Кулешова, М. Н. Павловский. ЖЭТФ, 1960, **39**, 1.
12. A. C. Mitchell, R. N. Keeler. Rev. Sci. Instrum., 1968, **39**, 4.
13. В. В. Якушев, А. Н. Дремин. ЖФХ, 1971, **45**, 1.
14. В. В. Якушев, С. С. Набатов, А. Н. Дремин. В сб. «Горение и взрыв». М., «Наука», 1972, стр. 584.
15. С. Б. Кормер. УФН, 1968, **94**, 4.
16. Л. В. Альтшулер. УФН, 1965, **85**, 2.
17. В. В. Якушев, С. С. Набатов, О. Б. Якушева. Докл. АН СССР, 1974, **214**, 4.
18. Л. В. Альтшулер, К. К. Крупников, М. И. Бражник. ЖЭТФ, 1958, **34**, 4.
19. Л. В. Альтшулер, А. А. Баканова, Р. Ф. Трунин. Докл. АН СССР, 1958, **121**, 1.
20. Л. В. Альтшулер, М. И. Бражник, Г. С. Телегин. ПМТФ, 1971, **6**.
21. Л. В. Альтшулер, К. К. Крупников и др. ЖЭТФ, 1958, **34**, 4.
22. А. Н. Дремин, С. Д. Савров и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М., «Наука», 1970.
23. Г. Фрелих. Теория диэлектриков. М., ИЛ, 1960.
24. И. М. Воскобойников, А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов. ФГВ, 1967, **3**, 4.
25. G. P. Srivastava, P. C. Mathur, K. N. Tripathi. Indian J. Pure and Appl. Phys., 1971, **9**, 6.
26. О. Б. Якушева. Канд. дисс. М., 1972.
27. H. L. Finkle, J. F. Messerly, S. S. Todd. J. Chem. Thermodyn., 1972, **4**, 3.
28. Краткий справочник химика. М.—Л., ГН—ТИХЛ, 1951.
29. T. J. Ahrens, M. H. Ruderman. J. Appl. Phys., 1966, **37**, 13.
30. О. А. Осипов, В. И. Минкин, А. Д. Гарновский. Справочник по дипольным моментам. М., «Высшая школа», 1971.
31. W. Dapphauser, A. F. Flueckinger. J. Phys. Chem., 1964, **68**, 7.
32. G. E. Hauver. J. Appl. Phys., 1965, **36**, 7.
33. А. Г. Иванов, Е. З. Новицкий и др. ЖЭТФ, 1967, **53**, 1.
34. В. В. Якушев. ПМТФ, 1972, **4**.
35. Р. М. Асеева, З. С. Смуткина и др. В сб. «Структурная химия углерода и углей». М., «Наука», 1969.
36. Е. Н. Зильберман. Реакции нитрилов. М., «Химия», 1972.

УДК 532.593

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН НА ОСТАТОЧНЫЕ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АРМКО-ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ

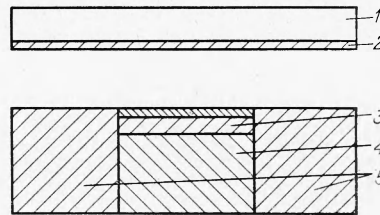
А. Н. Киселев, Т. М. Соболенко, Т. С. Тесленко
(Новосибирск)

Прохождение ударных волн через сплошную среду сопровождается возникновением как кратковременных эффектов, так и остаточных, среди которых наиболее исследованы фазовые переходы, проводимость, поляризация, процессы распада и синтеза. Магнитные свойства материалов изучались значительно меньше [1—3]. Представляло интерес ис-

следование остаточных магнитных свойств ударно-обработанных материалов, наиболее детально изученных с точки зрения их микроструктуры после прохождения ударных волн. В качестве исследуемого материала использовался электролитический никель и армко-железо следующих составов (в вес. %).

	Si	Mn	Cu	Zn	Cr	Sn	Pb
Армко	~1	0,2	0,1	0,03	0,01	0,003	—
Никель	~1	0,01	0,003	—	—	—	0,001

Образцы длиной $35 \pm 0,05$ мм имели цилиндрическую форму $\varnothing 5 \pm 0,1$ мм. Экспериментальная сборка показана на рисунке (1 — ВВ, 2 — метаемая пластина, 3 — образец, 4 — матрица, 5 — откольные элементы). Прилегающие поверхности матрицы с образцами и откольных элементов шлифовались. В качестве ВВ использовался гексоген насыпной плотности $\rho_0 = 1$ г/см³. Перед нагружением ударной волной образцы подвергались высокотемпературному отжигу в вакууме не ниже 10^{-4} мм рт. ст. (Ni — в течение трех часов при $t^\circ = 1000^\circ\text{C}$, армко-железо — 30 мин при $t^\circ = 850^\circ\text{C}$).



В качестве ударника использовались медные пластины толщиной 2 мм, которые обеспечивали одноволновое нагружение во всем диапазоне исследуемых давлений [4]. Расчет скорости полета и угла поворота пластины, метаемой скользящей детонационной волной, производился по формулам, приведенным в [5]. Экспериментальная проверка используемых формул, приведенная там же [5], показала отклонение расчета от эксперимента на 10%. Исследуемый диапазон давлений в пластической волне лежит в области от 100 до 500 кбар. Температура образцов перед нагружением была отрицательная ($-20 \div -25^\circ\text{C}$).

Методика измерений

Измерение магнитных характеристик исследуемых образцов и армко-железа проводилось в постоянном магнитном поле баллистическим методом [6], позволяющим определять достаточно точно все основные характеристики ферромагнетиков. Образцы намагничивались в замкнутом магнитном контуре. Измерительная катушка содержала две обмотки, включенные встречно, для измерения намагниченности I , при этом в отсутствие образца выполнялось условие $\omega_1 s_1 = \omega_2 s_2$, где ω_1 , ω_2 — число витков первой и второй обмоток, s_1 , s_2 — площадь поперечного сечения витка первой и второй обмоток. Для измерения магнитного поля использовался жесткий потенциалометр, отбрасываемый за пределы поля с помощью специального устройства.

Используемая измерительная катушка обеспечивала чувствительность по измерению намагниченности $I = 3,3$ Гс/мм, по измерению магнитного поля $H = 0,5$ э/мм. Для измерения намагниченности насыщения I_s использовалась другая измерительная катушка, обеспечивающая чувствительность по $I = 0,2$ Гс/мм, по $H = 0,6$ э/мм. Относительная погрешность по измерению намагниченности и магнитного поля не превышала 2,5%.

Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре ДРОН-1 в железном излучении, а также на аппарате УРС-60 в камерах РКД. Микроструктура и размер зерен исследовались с помощью микроскопа НЕОФОТ-2 (100*, 500*), микротвердость измерялась на приборе «Эпитип-2» приставкой с алмазной пирамидкой, погрешность измерения в диапазоне твердостей $150 \div 300$ Нв составляет ± 10 Нв.

Результаты опытов

После нагружения ударными волнами в исследуемом диапазоне давлений остаточная пластическая деформация не превышала 1,5%. Изучение микроструктуры исходного армко-железа показало, что оно состоит из приблизительно равноосных зерен 3÷5 балла с довольно значительным количеством шлаковых включений. Образцы 1 и 2 сохранили тот же размер зерен, практически все зерна были охвачены двойникованием. В образцах 3, 4, 5 кроме двойникования большинство зерен имело структуру, описанную в работе [7], которая указывает на осуществлявшийся в этих образцах фазовый переход в процессе ударно-волнового нагружения. При этом контраст травления зерен становится слабо различим, так что под микроскопом видны большие, неправильной формы зерна. В образцах 5 видимый размер зерен возвращается к исходному и следы деформации видны более отчетливо.

Микротвердость (см. таблицу) от исходной 150 Нв возрастает до 180 Нв на образце 1 и равна 195 Нв для образца 2. Образцы 3, 4, 5 имели твердость в 2 раза выше исходной. Подобный эффект наблюдался в работе [7]. В образце 5 отмечено слабое снижение твердости, по-видимому, из-за остаточного тепла. Анализ рентгеновских дифракционных линий показал (см. таблицу) незначительное уширение линий образцов 1 и 2. Резкое изменение характера дифракционных максимумов на образцах 3, 4, 5 подтверждает прошедший в этих образцах фазовый переход: наблюдается сильное измельчение областей когерентного рассеяния. Образец 5 имеет несколько меньшее уширение, что согласуется с наблюдением микроструктуры и микротвердости и также указывает на наличие теплового эффекта.

Измерение размера зерен Ni под микроскопом показало, что на образцах 1, 2, 3 наблюдается измельчение зерна примерно на 40% по сравнению с исходным (0,3 мм), на образце 4 измельчение достигало 50%, а на образце 5 размер зерна несколько восстанавливается, оставаясь чуть меньше, чем на образцах 1—3. Рентгеновский анализ в камерах РКД подтверждает результаты микроскопического исследования и, кроме того, показывает наличие слабой текстуры на фоне сплошных колец в образце 4.

Замеры микротвердости показывают равномерное возрастание твердости до образца 3. На образцах 4 и 5 явно наблюдается снижение микротвердости за счет выделяющегося тепла, причем этот процесс на образце 4 проходит не полностью, часть образца сохраняет несколько повышенную твердость. Анализ рентгеновских дифракционных линий показывает значительный разброс их уширения на разных участках, видимо, вследствие крупнозернистости, а, следовательно, — сильного влияния различной ориентировки кристаллитов по отношению к проходящим ударным волнам. Усредненные значения микроискажений приведены в таблице.

Магнитные измерения характеристик ударно-нагруженных армко-железа и Ni показали изменение всех измеряемых величин. Из таблицы видно, что с ростом давления до определенной величины непрерывно увеличивается коэрцитивная сила H_c и максимальная магнитная энергия $(BH/8\pi)_{\max}$. H_c увеличилась для Ni в 20 раз, для армко-железа в 8 раз по сравнению с исходными; $(BH/8\pi)_{\max}$ выросла для Ni более чем в 30 раз, для армко-железа примерно в 10 раз. Максимального значения величины H_c , $(BH/8\pi)_{\max}$ и I_r достигают при давлении 300 кбар за фронтом ударной волны.

Дальнейшее увеличение давления приводит к некоторому снижению указанных величин. Остаточная намагниченность I_r в опытах 1 и 2 уменьшается, затем существенно увеличивается (опыт 3) и снова несколько снижается в опытах 4, 5. Снижение H_c и I_r в опытах 4, 5 мо-

жет быть объяснено тепловыми эффектами, сопровождающими ударно-волновое нагружение, что подтверждается металлографическими и рентгеноструктурными исследованиями.

Исследования влияния пластической деформации [8, 9] на коэрцитивную силу показали, что $H_c \sim N^{1/2}$, где N — плотность дислокаций. Как известно, ударно-волновая обработка материалов сильно увеличивает количество дефектов кристаллической решетки [10], приводящих к значительным остаточным внутренним напряжениям, что подтверждается и настоящими исследованиями (параметр $\frac{\Delta a}{a}$, таблица). Можно предположить, что часть возникших в результате прохождения ударной волны решеточных дефектов является своего рода «закрепляющими» точками для доменов, что приводит к росту коэрцитивной силы H_c . Металлографические и рентгеноструктурные исследования показывают, что там, где имеют место наиболее четко выраженные изменения в микроструктуре армко-железа и Ni (обратимый фазовый переход в армко-железе, уширение рентгеновских дифракционных линий, повышение твердости), наблюдается резкий подъем H_c (опыты 3, 4, 5).

Поведение остаточной намагниченности при ударно-волновом нагружении внешне аналогично поведению I_r при пластическом статическом деформировании: снижение вначале переходит в подъем с увеличением степени деформации.

При измерении намагниченности насыщения в полях до $7 \cdot 10^3$ э было обнаружено незначительное уменьшение I_s у ударно-нагруженного Ni и армко-железа по сравнению с исходными. Поскольку имели место остаточная пластическая деформация, изменившая площадь поперечного сечения образца s_0 , а также небольшая точность в изготовлении образца ($\pm 0,1$ мм), для подтверждения эффекта истинного уменьшения намагниченности насыщения были проведены дополнительные эксперименты.

Были изготовлены образцы из исходных и ударно-нагруженных при 300 кбар армко-железа и Ni одинакового диаметра с точностью $\pm 0,005$ мм, причем для нагруженных образцов — в сторону увеличения, а для исходных — в сторону уменьшения диаметра. Сравнение показало уменьшение намагниченности насыщения ударно-деформированных образцов и составило для армко-железа — 7,35 Гс, для Ni — 4,87 Гс или

№ опыта (образца)	Скорость пласти- нн. м/с	Армко						Никель				
		$H_c, \text{э}$	$I_r, \text{Гс}$	$(BH/\delta\pi)_{\text{max}},$ эрг/см ³	H_D (среднее), кг/мм ²	$\frac{\Delta a}{a}$	Величина блоков, см	$H_c, \text{э}$	$I_r, \text{Гс}$	$(BH/\delta\pi)_{\text{max}},$ эрг/см ³	H_D (среднее), кг/см ²	$\frac{\Delta a}{a}$
0	0	0,9	610	100	150	—	—	1,2	220	42	150	—
1	565	3,0	500	240	189	$1,03 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	18,2	190	982	195	$0,85 \cdot 10^{-3}$
2	1010	3,7	680	380	195	$1,07 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	19,7	208	1186	220	$1,0 \cdot 10^{-3}$
3	1440	7,3	795	920	320	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	22,0	212	1332	240	$1,2 \cdot 10^{-3}$
4	1810	7,0	775	840	315	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	21,5	200	1240	215	$1,46 \cdot 10^{-3}$
5	2160	6,4	710	740	300	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	20,5	198	1238	205	$1,24 \cdot 10^{-3}$

соответственно 0,43% от I_s исходного армко-железа, равной 1700 Гс и 0,985% от I_s исходного Ni, равной 495 Гс. Уменьшение намагниченности насыщения можно качественно объяснить влиянием остаточных упругих напряжений на параметры кристаллической решетки [11].

Рентгеноструктурные исследования подтверждают изменение параметров кристаллической решетки Ni и армко-железа после обработки ударными волнами $\left(\frac{\Delta a}{a}\right)$.

Таким образом, можно высказать предположение о том, что ударно-волновая обработка Ni и армко-железа приводит к незначительному снижению их намагниченности насыщения.

В заключение авторы выражают благодарность сотруднику Института геологии и геофизики СО АН СССР Н. А. Яковлевой за проведенный спектральный анализ исходных материалов.

Поступила в редакцию
27/XII 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. M. F. Rose, M. P. Villere, T. L. Berger. Philosophical magazine, 1969, 19, 39.
2. A. Christow. Philosophical magazine, 1970, 21, 169, 203.
3. C. R. Crowe, M. F. Rose, J. Appl. Phys., 1971, 42, 11, 4319.
4. Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях. М., «Мир», 1965.
5. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
6. И. И. Кифер. Испытания ферромагнитных материалов. М.—Л., ГЭИ, 1962.
7. Т. М. Соболенко. ФГВ, 1966, 2, 4.
8. И. Я. Дехтер, Д. А. Левина, ФММ, 1961, 12, 1.
9. A. H. Qureshi, L. N. Chanhary. J. Appl. Phys., 1970, 41, 3, 1, 1042.
10. H. Kressel, N. Brown. J. Appl. Phys., 1967, 38, 4, 1618.
11. К. П. Белов. Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетитах. М., Гостехиздат, 1957.

УДК 662.215.1

О ВЛИЯНИИ ОБОЛОЧКИ НА СКОРОСТЬ ДЕТОНАЦИИ СМЕСЕВЫХ ВВ

Н. Н. Тарасенко
(Днепропетровск)

Известно влияние свойств оболочки на параметры детонации зарядов ВВ [1—5]. В [3] отмечается, что в случаях, когда диаметры цилиндрических зарядов (d_3) меньше предельных, наличие оболочки из материалов большой плотности и прочности заметно повышает скорость детонации (D) и что это повышение особенно значительно при средних плотностях (при больших плотностях оно отсутствует, а при малых проявляется слабо). В работе [5] показано, что в грубом приближении имеет место так называемое правило эквивалентности: действие инертной оболочки эквивалентно действию взрывчатой оболочки с той же массой на единичной длине. Там же отмечается малая разница между действием стальных, дюралевых, водяных и парафиновых оболочек, а также идентичность воздействия на заряд водяных оболочек толщиной 3—4 и более диаметра заряда (при $d_3 = 15 \div 30$ мм).