

рочке» однозначно связан с ее мгновенным ускорением и определяется соотношением

$$\frac{p_s - p}{p_s} = \frac{d \ln u_s}{d \ln V},$$

где u_s — скорость газа на фронте ударной волны. Если это выражение использовать не только в предельных случаях, когда картина одномерна, но и в двумерном, то получим, что перепад давления в «корочке» одинаков во всех точках поверхности фронта, а следовательно, при «выровненности» давления в полости одинаково в данный момент времени и давление на фронте ударной волны по всей ее поверхности. Изменение приведенных выше соотношений, необходимое для учета такого перепада давления, довольно очевидно.

Поступила в редакцию
30/IX 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Седов. Методы подобия и размерности в механике. М., «Наука», 1965.
2. Г. Г. Черный. Течение газа с большой сверхзвуковой скоростью. М., Физматгиз, 1959.
3. А. С. Компанеев. Докл. АН СССР, 1960, 130, 5, 1001—1003.

УДК 621.787

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИИ ВВ НА УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ 1Х18Н10Т

*Е. И. Богдановская, Л. В. Дубнов,
Э. Б. Медзяновский, К. К. Шведов*

(Москва)

В ряде работ исследовались основные закономерности взрывного упрочнения металлов [1—4]. Показано, что при воздействии на металл ударных волн (УВ) упрочнение не связано однозначно с величиной остаточной пластической деформации и определяется параметрами взрывного нагружения материалов. Интенсивность упрочнения (величина твердости на поверхности) зависит от давления нагружения, т. е. в первом приближении от давления детонации ВВ. С увеличением импульса взрыва, определяемого толщиной слоя ВВ, возрастает глубина упрочнения материала, а величина максимальной поверхностной твердости остается практически неизменной.

Для оценки эффективности ВВ, применяемых при упрочнении, измеряются, как правило, скорость детонации D и плотность ρ_0 ВВ. Однако для установления связи между параметрами детонации ВВ и действием взрыва на металл необходимы также значения массовой скорости u продуктов взрыва (ПВ), давления детонации p_1 и показателя политропы ПВ n , а также распределение массовой скорости $u(t)$ или давления $p(t)$ за фронтом детонационной волны.

В задачу настоящей работы входило более подробное исследование детонационных характеристик пластических и эластичных ВВ и оценка влияния параметров детонации ВВ на их эффективность при упрочнении. Все опыты по оценке детонационных характеристик ВВ

проводились в зарядах плоской формы. Длина зарядов составляла не менее $6 \div 8$ толщин, а ширина — $2 \div 4$ толщины заряда ВВ. Наименьшая толщина слоя ВВ при определении параметров детонации из-за методических соображений была ограничена 15 мм. В одном опыте электромагнитным методом одновременно определялись скорость детонации и профиль массовой скорости [5]. На основе этих данных рассчитывались массовая скорость ПВ в плоскости Чемпена — Жуге u_1 — точка излома записи $u(t)$, давление детонации $p_1 = \rho_0 u_1 D$, плотность ПВ в плоскости Чемпена — Жуге $\rho_1 = \rho_0 D / (D - u_1)$ или $\rho_1 = \frac{n+1}{n} \rho_0$ и показатель политропы ПВ $n = (D/u_1) - 1$. Точность измерения D и u_1 составляет соответственно 2 и 3%.

В табл. 1 приведены параметры детонации исследованных составов (усредненные данные из 3—5 опытов).

Как видно из табл. 1, показатель политропы ПВ исследованных составов во всех случаях, кроме аммонитов, больше 3. Поэтому использование показателя политропы ПВ $n=3$ для расчета давления детонации пластифицированных ВВ и особенно металлизированных составов (№ 10, 30, 40) по известному значению скорости детонации ($p_1 = \frac{\rho_0 D^2}{n+1}$) приведет к существенному завышению давления.

Если считать, что упрочнение металлов определяется в основном давлением, то ряд ВВ по эффективности при упрочнении должен приблизительно совпадать с рядом по давлению. Однако для более строгой оценки необходимо знать давление при отражении детонационных волн различных ВВ от металлической преграды. Наиболее точно определить давление на границе раздела металл — ПВ можно при торцевом (лобовом) столкновении детонационной волны с преградой. Ударные адиабаты ПВ конденсированных ВВ в области, соответствующей отражению детонационных волн от плотных сред, могут быть построены с достаточной точностью ($3 \div 5\%$) по степенной зависимости давления от плотности ПВ $p = A(\rho/\rho_1)^n$, где $A = p_1$, n — показатель политропы ПВ [7]. Так как при соударении с металлической преградой плотность ПВ возрастает, были построены верхние ветви ударных адиабат ПВ ($\rho > \rho_1$). Приращение массовой скорости при этом составляет $\Delta u = \left[(p - p_1) \left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho} \right) \right]^{1/2}$.

На рис. 1 приведены ударные адиабаты ПВ исследованных ВВ и ударная адиабата стали [10]. По методу «отражения» найдены давле-

Таблица 1

Наименование ВВ	ρ_0 , г/см ³	ρ_1 , г/см ³	D , км/с	u_1 , км/с	p_1 , кбар	p_T , кбар	u_T , км/с	$(p_T - p_1)/$ $p_1 \cdot 100\%$	n
Пластит Г-75	1,56	1,96	7,69	1,56	187	301	0,73	61	3,9
Гексопласт-89	1,59	1,99	7,65	1,53	187	297	0,71	59	4,0
Пластит-805	1,62	2,04	7,63	1,56	191	305	0,78	60	4,0
Пластит	1,66	2,12	8,10	1,78	242	380	0,91	57	3,5
Эластит	1,63	2,12	7,15	1,66	191	310	0,78	62	3,1
Состав № 1	1,45	1,81	7,70	1,52	169	273	0,70	61	4,0
Состав № 5	1,47	1,82	7,35	1,43	154	252	0,65	64	4,1
Состав № 10*	1,51	1,99	7,20	1,34	146	240	0,62	64	4,4
Состав № 30*	2,06	2,49	6,90	1,19	169	254	0,64	50	4,8
Состав № 40*	2,33	2,80	6,76	1,13	178	256	0,65	44	5,0
Аммиачно-селитрен- ные ВВ**	1,00	1,52	3,80	1,31	49,7	100	0,25	100	1,9
	1,00	1,54	4,60	1,64	76,6	150	0,40	96	1,8

* Металлизированные ВВ по типу патента США [9].

** Данные по детонационным параметрам аммиачно-селитренных ВВ взяты из работы [6].

ния p_t , возникающие на границе металл — ВВ при торцевом столкновении детонационной волны с преградой. В табл. 1 приведены также детонационные давления в плоскости Чепмена — Жуге, давления и массовые скорости, возникающие на границе раздела ВВ — сталь при торцевом ударе (p_t, u_t) и относительное изменение давления на границе ($\frac{p_t + p_1}{p_1} \cdot 100\%$). Из данных рис. 1 и табл. 1 видно, что относительное изменение давления на границе металл — ПВ колеблется от 44 до 100% для исследованных ВВ, что связано с различным ходом ударных адиабат.

При взрывном упрочнении металл нагружается, как правило, «скользящей» детонационной волной. В этом случае давление на границе раздела существенно зависит от угла разлета ПВ. Будем считать для приблизительных оценок, что угол разлета ПВ для различных ВВ меняется несильно и составляет в среднем 45° , как это следует из работы [8]. Это означает, что давление на границе раздела металл — ПВ при воздействии на него скользящей детонационной волны p_c равно примерно 50% от p_t .

Для оценки эффективности ВВ были упрочнены взрывом образцы стали 1X18H10T — листовая сталь в состоянии поставки (толщина листов 5 мм). В образцах металла ($100 \times 200 \times 5$ мм) генерировалась косая УВ при взрыве на их поверхности заряда ВВ толщиной 5 мм. Для ликвидации откольных явлений образец перед взрывом устанавливался на стальное основание. В каждом опыте контролировалась скорость детонации. В листовых зарядах толщиной 5 мм скорость детонации не отличалась от значений, приведенных в табл. 1. В обработанных взрывом образцах определялись поверхностная твердость (по Бринелю) и основные механические характеристики металлов при испытании их на растяжение (временное сопротивление на разрыв σ_b , относительное об-

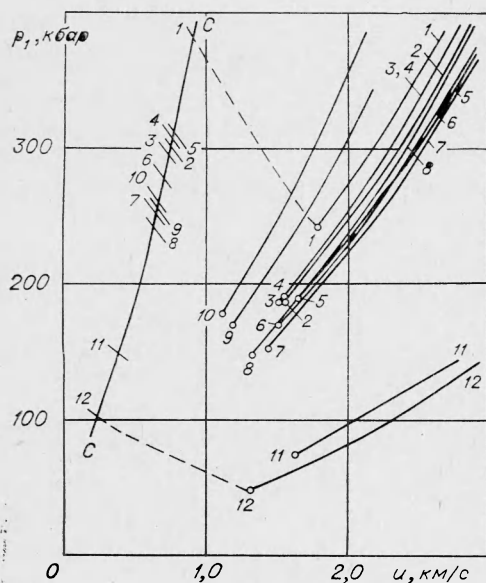


Рис. 1. Ударные адиабаты: продуктов детонации — пластик (1—1); пластик Г-75 (2—2); гексопласт-89 (3—3); пластик-805 (4—4); эластит (5—5); состав № 1 (6—6); состав № 5 (7—7); состав № 10 (8—8); состав № 30 (9—9); состав № 40 (10—10); аммиачно-селитренные ВВ (11—11, 12—12); стали (С—С).

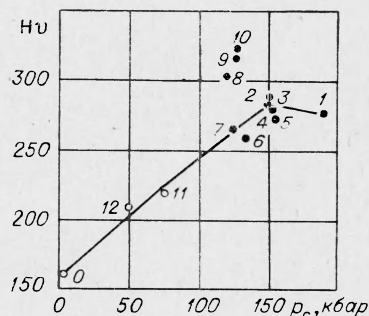


Рис. 2. Зависимость твердости стали 1X18H10T от давления нагружения.

1 — пластик; 2 — пластик Г-75; 3 — гексопласт-89; 4 — пластик-805; 5 — эластит; 6 — состав № 1; 7 — состав № 5; 8 — состав № 10; 9 — состав № 30; 10 — состав № 40; 11, 12 — аммиачно-селитровые ВВ; 0 — исходный материал.

Таблица 2

Наименование ВВ	σ_B , кг/мм ²	δ , %	ψ , %	H_B	
				со стороны взрыва	с противоположной стороны
Пластит Г-75	85—88	9—11	54—56	285—290	265—275
Гексопласт-89	84—86	9—11	53—59	280—290	265—275
Пластит-805	86—89	9—14	39—49	270—295	265—275
Пластит	86—87	7—10	21—31	270—285	260—270
Эластит	77—83	12—15	56—60	270—280	250—260
Состав № 1	74—78	16—18	55—67	250—270	230—250
Состав № 5	75—80	10—17	54—56	260—270	250—255
Состав № 10	92—101	10—12	50—53	295—305	280—292
Состав № 30	90—105	9—12	45—54	315—321	285—302
Состав № 40	90—105	9—12	45—54	315—321	285—302
Исходный материал	61	38	70	160	160

щее удлинение образца δ и относительное сужение ψ). Свойства упрочненного и исходного материалов (наибольшие и наименьшие значения из 6÷10 опытов) приведены в табл. 2.

На рис. 2 представлена зависимость твердости стали от давления p_0 на границе раздела металл—ПВ при взрыве накладного заряда ВВ (скользящая волна). Из данных табл. 2 и рис. 2 видно, что при упрочнении стали 1X18H10T неметаллизированными порошкообразными и пластифицированными ВВ достигается твердость 210÷295 ед. H_B . С ростом давления нагружения до 150 кбар твердость металла возрастает, а при более высоких давлениях (~200 кбар) несколько снижается. Одновременно пластичность материала при этом давлении (см. табл. 2) снижается в большей степени, чем при использовании других, менее мощных ВВ. Возможно, что при таких давлениях в материале развиваются микротрещины, что приводит к снижению пластичности и прочности материала.

Из всех исследованных ВВ металлизированные составы обеспечили наибольшее упрочнение стали, хотя имели меньшее давление детонации.

Можно предположить, что угол разлета ПВ металлизированных ВВ несколько меньше 45° и действительное давление на границе раздела при воздействии на металл скользящей детонационной волны больше, чем предполагалось.

Для более строгого сравнения упрочняющего действия металлизированных и неметаллизированных ВВ было проведено упрочнение нержавеющей стали 1X18H10T при воздействии на нее нормально падающей плоской детонационной волны. Иницирование плоской волны осуществлялось с помощью устройства и по методике, разработанным в НИИМеханики МГУ. Для надежного иницирования пластичных ВВ был применен промежуточный заряд из штатного гексогена толщиной 3 мм и мелкодисперсного тэна толщиной 3 мм; толщина слоя основного заряда составляла 7 мм. С помощью СФР были определены скорость и форма фронта при развитии детонации в заряде ВВ и показано, что фронт детонационной волны плоский по всей площади иницирования (60×60 мм).

Таким образом, методика обеспечивает распространение в основном заряде ВВ стационарной детонационной волны с плоским фронтом по всей площади иницирования и постоянным импульсом. По выбранной методике упрочняли образцы стали 1X18H10T—материал в состоянии поставки, исходная твердость 140 H_B . Для основного заряда

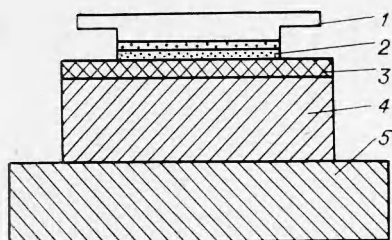


Рис. 3. Схема упрочнения стали 1X18H10T плоской, нормально падающей детонационной волной.
1 — инициатор; 2 — вспомогательный заряд; 3 — основной заряд ($\Delta=7$ мм); 4 — упрочняемый образец; 5 — откольная плита.

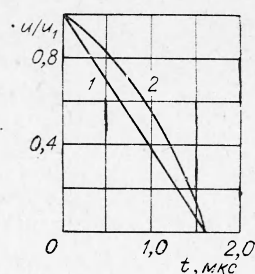


Рис. 4. Относительное изменение массовой скорости ПВ во времени.

ВВ были применены пластик Г-75, эластит и металлизированный состав № 30 (рис. 3).

В опытах изменялась твердость в центральной части упрочненных образцов (под инициатором). Средняя величина твердости составляла: пластик Г-75—225÷255; эластит—230÷240; состав № 30—225÷÷270 Н_В.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что металлизированные составы, имеющие меньшие давления детонации по сравнению с исследованными неметаллизированными пластичными и эластичными ВВ, обеспечили более высокое упрочнение стали 1X18H10T в скользящей и падающей детонационных волнах. Вероятно, величина упрочнения материала не является однозначной функцией давления, а зависит от ряда других факторов, например, импульса взрыва (особенно его головной части). Для примера на рис. 4 показан относительный (отношение текущего значения массовой скорости ПВ к ее значению в точке Чепмена — Жуге — u/u_1) профиль массовой скорости пластина Г-75 (1) и состава № 30 (2). Видно, что спад массовой скорости и, следовательно, давления в металлизированном ВВ затянут. Возможно, это приводит к большему эффекту упрочнения таких составов. По-видимому, определенную роль играет состав ПВ. Наличие в продуктах взрыва твердых высокоплотных металлических частиц приводит к своеобразной «бомбардировке» поверхности металла частицами, что вызывает дополнительный прирост твердости материала.

Поступила в редакцию
14/1 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
2. Дж. С. Райнхарт, Дж. Пирсон. Взрывная обработка металлов. М., «Мир», 1966.
3. Э. С. Атрощенко. Канд. дис. Волгоград, 1965.
4. Т. М. Соболенко. Канд. дис. Новосибирск, 1966.
5. А. Н. Дремин, К. К. Шведов, В. А. Веретенников. В сб. Взрывное дело, № 52/9. М., Госгортехиздат, 1963.
6. Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. Промышленные взрывчатые вещества. М., «Недра», 1973.
7. Н. М. Кузнецов, К. К. Шведов. ФГВ, 1969, 5, 3.
8. 4-th Symposium (International) on Detonation. White Oak, 1965, p. 92.
9. Патент США № 3528864.
10. Compendium on Shock Wave data (1966). Lawrence radiation laboratory University of California Livermore.