

ДЕТОНАЦИЯ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И ДИНАМОНОВ С ИНЕРТНЫМИ ДОБАВКАМИ И БЕЗ НИХ

В. Е. Кожевников

Уралхиммаш, 620010 Екатеринбург

Экспериментально определены зависимости скорости детонации плоских зарядов толщиной 10 ÷ 60 мм из аммиачной селитры и ее смесей с различными жидкими и твердыми горючими с добавлением инертных компонентов при варьировании их содержания и дисперсности. Данные взрывчатые вещества использовали при плакировании сваркой взрывом плоских металлических заготовок площадью до 12 м² с толщиной плакирующего слоя от 1 до 30 мм и основного слоя от 4 до 120 мм.

При сварке взрывом в зависимости от свариваемых материалов и их толщин требуются взрывчатые вещества (ВВ) со скоростью детонации $D \approx 1000 \div 3500$ м/с [1–7]. Для ВВ на основе аммиачной селитры и тротила это достигается введением в них инертной добавки, такой как поваренная соль [8, 9], тальк [9], кварцевый песок [10]. Однако, как показала практика, при сварке взрывом ряда заготовок не всегда удается подобрать нужный по толщине и скорости детонации заряд ВВ. Остается актуальной и задача изыскания более дешевых и стабильных ВВ [11], удовлетворяющих различным условиям применения и требованиям технологического процесса сварки взрывом. В этом отношении представляют интерес динамоны [12, 13] — смеси порошкообразной или гранулированной аммиачной селитры с невзрывчатыми горючими компонентами. Из этого класса ВВ при сварке взрывом уже используется игданит [14] (смесь гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом).

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования скорости детонации плоских зарядов насыпной плотности из аммиачной селитры (АС) различной дисперсности и ее смесей с жидкими и твердыми горючими и инертными компонентами (см. таблицу) при варьировании их содержания.

Скорость детонации измеряли аналогично [9] с помощью частотомеров в зарядах размером $L \times B = 480 \times 300$ мм и толщиной $H = 10 \div 60$ мм ($B/H \geq 5$ по [15]). Заряд располагали на стальной пластине толщиной 3 мм, а датчики устанавливали на ней вдоль заряда по его середине на трех последовательно расположенных базах в направлении распро-

странения фронта детонации. Базовое расстояние между датчиками 100 мм. Погрешность измерения не превышала 2%. Габариты заряда заданной толщины ограничивала рамка из деревянных реек толщиной 10 мм. Состав ВВ готовили непосредственно перед формированием заряда. Инициировали заряды стандартным электродетонатором как с использованием дополнительного заряда (боевика) из аммонита 6ЖВ ($\varnothing 30 \times H$, мм), так и без него.

Результаты опытов и составы исследованных ВВ приведены на рис. 1–5, где содержание компонентов указано либо в процентах от объема селитры, либо в виде их соотношения \bar{C} (по объему). Каждая точка кривых есть результат осреднения не менее трех опытов. Следует отметить, что в тех случаях, когда средние значения скорости детонации для разных составов ВВ совпадали в пределах ± 20 м/с, на кривых указывали только одну общую точку. Поэтому во многих случаях на рисунках представлены кривые, которые полностью или частично совпали для двух и более ВВ.

Сначала исследовали детонацию динамонов на основе АС различной дисперсности и жидких горючих компонентов, а также детонацию самой селитры и селитры с инертными добавками в зависимости от содержания компонентов и толщины зарядов. Затем таким же образом исследовали динамоны на основе только АСМ и твердых горючих компонентов без инертных добавок и с ними.

Зависимости скорости детонации динамонов от содержания жидких горючих компонентов представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что динамоны детонируют с максимальной скоростью в том случае, когда в них независимо

Компоненты	Обозначение	Дисперсность, мкм
АС гранулированная	АСГ	$(1 \div 3) \cdot 10^3$
АС пористая гранулированная	АСП	$(1 \div 3) \cdot 10^3$
АС кристаллическая	АСК	≈ 200
АС мелкого помола	АСМ	≈ 100
Дизельное топливо	ДТ	—
Трансформаторное масло	ТМ	—
Керосин технический	Ке	—
Индустриальное масло	ИМ	—
Мазут М-40	Ма	—
Глицерин технический	Гл	—
Песок кварцевый	П	*
Тальк	Та	≈ 100
Микротальк	МТа	≈ 20
Мрамор мелкого помола	Мр	≈ 90
Порошок железный ПЖРЗ	ПЖРЗ	≈ 315
Рутиловый концентрат	TiO ₂	≈ 315
Древесная мука	ДМ	≈ 200
Целлюлоза электродная	Це	≈ 200
Древесный уголь	ДУ	**
Торф	То	**
Древесные опилки	ДО	**

Примечание. Влажность твердых компонентов не более 0,3%; * — смесь мелких и крупных частиц размером не более 300 мкм; ** — смесь мелких и крупных частиц, просеянных через сито с ячейкой 2 мм.

от дисперсности селитры содержится 5 ÷ 7 % дизельного топлива (кривые 1, 3, 7), глицерина (кривые 2, 4), трансформаторного (кривая 5) или индустриального (кривая 6) масла либо содержится 5 ÷ 10 % керосина (кривая 9) или 9 ÷ 10 % мазута (кривая 8). Следует отметить, что приготовление динамонов, содержащих мазут, весьма трудоемко из-за его большой вязкости, но добавка дизельного топлива в мазут существенно облегчает их приготовление. Очевидно, что указанное количество добавок наиболее близко к стехиометрическому составу [12] перечисленных выше смесей. При таком содержании компонентов, а также при указанных толщинах заряда и одинаковых размерах гранул селитры динамоны, содержащие дизельное топливо (кривая 7) или трансформаторное масло (кривая 5), детонируют со скоростью большей, чем динамоны, содержащие (да-

лее перечисление в порядке уменьшения скорости детонации): индустриальное масло (кривая 6), керосин (кривая 9), мазут (кривая 8) и глицерин (кривая 4). Динамоны на основе АСМ детонируют с большей скоростью, чем на основе АСК или АСП (см. кривые 1, 3, 7, а также 2, 4). Окончания справа всех кривых на рис. 1 почти соответствуют критическому значению максимального количества добавки, при котором заряд ВВ еще детонирует. Критическое значение зависит от марки добавки и размеров частиц селитры. Если АСМ и АСК детонировали и без горючих добавок, то АСП начинала детонировать при добавке не менее 1,5 % дизельного топлива (критическое значение минимального количества добавки, кривая 1). А в смеси АСГ даже с 5 % дизельного топлива при $H = 10$ см детонация затухала на расстоянии ≈ 300 мм от места расположения боевика в заряде размером

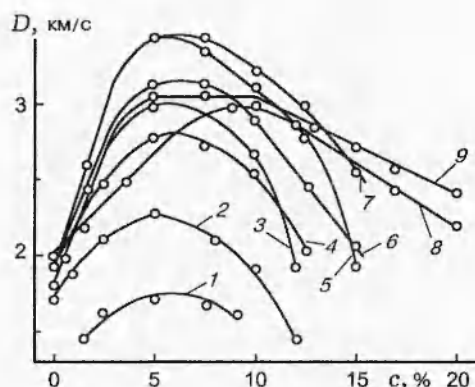


Рис. 1. Зависимости скорости детонации от объемного содержания жидких горючих компонентов для динамонов:

1 — АСП+ДТ, $H = 5$ см; 2 — АСК+Гл, $H = 4$ см;
3 — АСК+ДТ, $H = 5$ см; 4 — АСМ+Гл, $H = 4$ см;
5 — АСМ+ТМ, $H = 4$ см; 6 — АСМ+ИМ, $H = 4$ см;
7 — АСМ+ДТ, $H = 4$ см; 8 — АСМ+Ма, $H = 5$ см;
9 — АСМ+Ке, $H = 3$ см

2600 × 500 мм. С учетом этого из кривых 7, 3, 1 и 4, 2 следует, что скорость детонации динамонов и селитры падает с увеличением гранул селитры до размеров, при которых селитра и динамоны не детонируют. Это объясняется, по-видимому, тем, что крупные и более плотные гранулы (например, без пор у АСГ в сравнении с пористыми у АСП) не успевают полностью прореагировать в зоне химической реакции при заданной толщине заряда.

На рис. 2 показано, как снижается скорость детонации при введении гранулированной селитры в селитру мелкого помола (см. кривые 1, 2) и введении инертных добавок в динамоны (кривые 3–5 и 7–10) и селитру (кривая 11). В этом отношении мрамор (кривая 8) снижает скорость детонации чуть больше талька (кривая 7), которому равноценны железный порошок и рутиловый концентрат, плотность которых больше, чем плотность других инертных добавок (см. рис. 2). В сравнении с ними кварцевый песок при одинаковых значениях \bar{C} (см. кривые 3–5 и 7–10) меньше снижает скорость детонации. Левые окончания всех кривых рис. 2, за исключением кривой 6, почти соответствуют критическому значению \bar{C} . При этом изменение соотношения Ма/ДТ в диапазоне от 8/1 до 1/1 увеличивает скорость детонации всего лишь на ~ 100 м/с.

Влияние толщины заряда на скорость детонации селитры и динамонов, содержа-

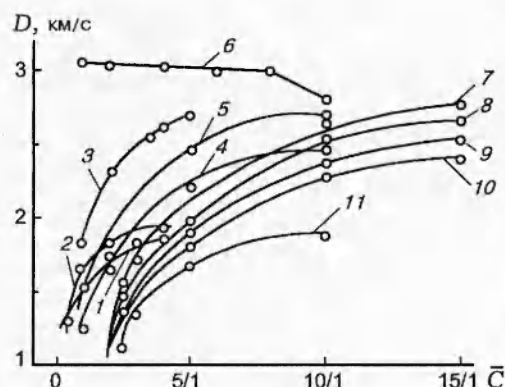


Рис. 2. Зависимости $D(\bar{C})$ для аммиачной селитры и для динамонов, содержащих жидкие горючие компоненты, с инертными добавками при $H = 4$ см (кроме зависимости 2, где $H = 5$ см):

1 — АСМ/АСГ; 2 — АСМ/АСП; 3 — (АСМ+5% Ке)/П;
4 — (АСМ+5% Гл)/П; 5 — (АСМ+5% ДТ)/П;
6 — АСМ+9% (Ма/ДТ); 7 — (АСМ+5% ДТ)/Та,
(АСМ+5% ДТ)/ПЖРЗ, (АСМ+5% ДТ)/TiO₂;
8 — (АСМ+5% ТМ)/Та, (АСМ+5% ДТ)/Мр,
(АСМ+5% Ке)/Мр; 9 — (АСМ+5% ИМ)/Та;
10 — (АСМ+5% Гл)/Та; 11 — АСМ/П

щих жидкие горючие компоненты с инертными добавками и без них, показано на рис. 3. Видно, что АСМ (кривая 10) независимо от толщины заряда детонирует, как и состав (АСМ+9% Ма)/П=3/1, со скоростью на ~ 200 м/с больше, чем у АСК (кривая 13) и смеси АСМ/АСГ=3/1 или АСМ/П=5/1. Кривые 9–17 слева ограничены критическим значением толщины заряда (H_{cr}). Смеси АСМ/АСГ=1/1, АСМ/П=3/1 и АСМ/МТа=10/1 (кривая 14) детонируют со скоростью на ≈ 400 м/с меньше, чем АСМ (кривая 10). Тальк (кривая 15) снижает скорость детонации селитры немного эффективнее, чем микротальк (см. кривую 14 и ее составы). Однако в динамонах с 5% ДТ (кривая 5) тальк и микротальк равнозначны. Мрамор снижает скорость детонации селитры и динамонов эффективнее талька (см. кривые 15, 16 и 5, 6 соответственно). Смеси АСК/П=5/1 и АСМ/П=2,5/1 детонируют одинаково (кривая 17) и, как показали эксперименты, без боевика не детонируют. Кроме того, указанные значения \bar{C} (5/1 и 2,5/1) являются критическими для смесей АСК/П и АСМ/П. Смесь АСМ/П=5/1 (кривая 13) по сравнению с АСК/П=5/1 (кривая 17) детонирует и без боевика и с большей скоростью (при $H = 4$ см на ≈ 600 м/с, а при $H = 6$ см на ≈ 500 м/с), и

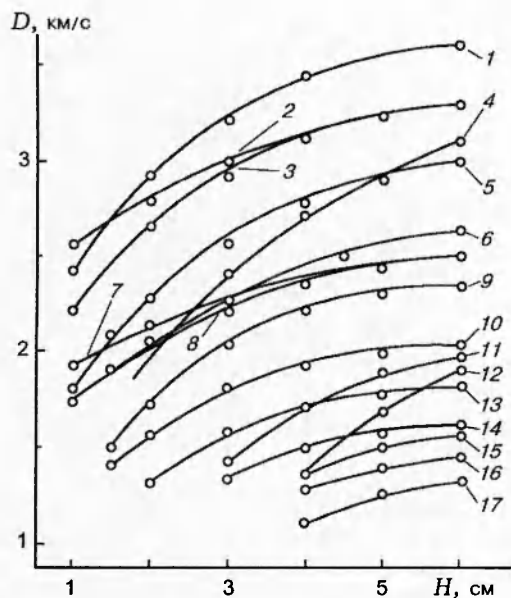


Рис. 3. Зависимости $D(H)$ для аммиачной селитры и для динамонов, содержащих жидкие горючие компоненты, с инертными добавками и без них:

1 — АСМ+5% ДТ, АСМ+5% ТМ; 2 — АСМ+5% Ке; 3 — АСМ+5% ИМ; 4 — АСК+5% ДТ, (АСМ/АСГ=1/1)+5% ДТ, АСМ+9% Ма; 5 — АСМ+5% Гл, (АСМ+5% ДТ)/Та=10/1, (АСМ+5% ДТ)/МТа=10/1; 6 — (АСМ+5% ДТ)/П=3/1, (АСМ+5% ДТ)/Мр=10/1, (АСМ+5% Ке)/Мр=10/1; 7 — (АСМ+5% Ке)/П=3/1; 8 — (АСМ+5% Гл)/Та=10/1; 9 — АСК+5% Гл, (АСМ/АСГ=1/1)+5% Гл, (АСМ+5% Гл)/П=3/1; 10 — АСМ, (АСМ+9% Ма)/П=3/1; 11 — АСП+5% Гл, АСП+5% Ке; 12 — АСП+5% ДТ; 13 — АСК [16], АСМ/АСГ=3/1, АСМ/П=5/1; 14 — АСМ/АСГ=1/1, АСМ/П=3/1, АСМ/МТа=10/1; 15 — АСМ/Та=10/1; 16 — АСМ/Мр=10/1; 17 — АСК/П=5/1 [16], АСМ/П=2,5/1

критическое значение толщины заряда из этой смеси в два раза меньше ($H_{cr} = 2$ и 4 см соответственно). Смесь АСМ/АСГ=1/1 и кристаллическая АС (кривые 14 и 13) детонируют не одинаково, а в динамовах (см. кривые 4, 9 и их составы) они равнозначны. Интересно отметить, что глицерин и керосин уменьшают значение H_{cr} в динамовах по сравнению с дизельным топливом (см. кривые 11 и 12 слева). Соответственно, при данной дисперсности селитры (АСП, 1 ÷ 3 мм) глицерин и керосин равнозначны и эффективнее повышают детонационные свойства такой селитры, чем дизельное топливо. Однако в АСМ (см. кривые 2 и 5) керосин увеличивает скорость детонации эффективнее глицерина. До-

бавка 5% глицерина в АСК (кривая 9) увеличивает скорость ее детонации (кривая 13) на ≈ 400 м/с при $H = 2$ см и на ≈ 500 м/с при $H = 6$ см, а также уменьшает значение H_{cr} с 2 до 1,5 см. С такой же скоростью детонируют смеси (АСМ/АСГ=1/1)+5% Гл и (АСМ+5% Гл)/П=3/1. Если в АСМ добавляется 5% глицерина (кривая 5), ее скорость детонации (кривая 10) увеличивается на ≈ 650 м/с при $H = 1,5$ см и на ≈ 950 м/с при $H = 6$ см. У динамона АСК+5% ДТ (кривая 4) следует ожидать, что $H_{cr} < 2$ см, и он имеет скорость больше, чем АСП+5% ДТ (кривая 12), на ≈ 1200 м/с при $H = 6$ см и на ≈ 1300 м/с при $H = 4$ см. Независимо от толщины заряда содержание в АСМ 5% дизельного топлива или трансформаторного масла (кривая 1) одинаково влияет на скорость детонации. Однако керосин (кривая 2) эффективнее, чем они, увеличивает скорость при $H < 1,5$ см. При $H < 4$ см он действует эффективнее и индустриального масла (кривая 3), а при $H > 4$ см равнозначен ему. Индустриальное масло по сравнению с глицерином (см. кривые 3, 5) увеличивает скорость детонации АСМ на 350 ÷ 400 м/с практически независимо от толщины заряда. Смесь АСМ+5% ДТ детонирует со скоростью большей, чем АСК+5% ДТ, на ≈ 1000 м/с при $H = 2$ см и на ≈ 500 м/с при $H = 6$ см (кривая 1). Смеси АСМ+9% Ма и (АСМ/АСГ=1/1)+5% ДТ детонируют так же, как АСК+5% ДТ (кривая 4). При добавке в состав АСМ+5% ДТ (кривая 1) десятой части талька или микроталька (кривая 5), как и при замене дизельного топлива глицерином, скорость детонации снижается на ≈ 620 м/с независимо от толщины заряда. Из сравнения кривых 1 и 6, 2 и 7, 5 и 9, а также 4 и 10 видно, что песок и мрамор в динамовах сильнее снижают скорость детонации с увеличением толщины заряда. Большой рост скорости детонации с увеличением толщины заряда у смесей дизельного топлива с гранулированной селитрой по сравнению с измельченной селитрой замечен и в [14]. Видимо, чем больше толщина заряда динамонов, тем полнее проходит химическая реакция крупных гранул селитры. Это ярче выражено у динамонов с дизельным топливом (например, кривые 12, 11). Из рис. 3 видно, что влияние толщины заряда на значения D и H_{cr} зависит как от типа селитры, так и от марки горючей или инертной добавки.

Результаты исследования детонации динамонов на основе АСМ и твердых горючих ком-

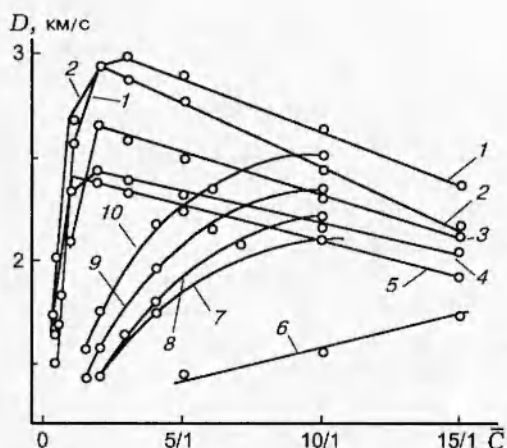


Рис. 4. Зависимости $D(C)$ для динамонов, содержащих твердые горючие компоненты, с инертными добавками при $H = 4$ см:

1 — АСМ/ДМ; 2 — АСМ/Це; 3 — АСМ/ДУ; 4 — АСМ/То; 5 — АСМ/ДО; 6 — (АСМ/ДМ=1/2)/П; 7 — (АСМ/ДМ=15/1)/П; 8 — (АСМ/ДМ=1/1)/П, (АСМ/То=2/1)/П; 9 — (АСМ/ДМ=10/1)/П; 10 — (АСМ/ДМ=2/1, 3/1, 5/1)/П.

понентов показаны на рис. 4. С максимальной скоростью детонирует смесь АСМ с древесной мукой при $\bar{C} = 3/1$ (кривая 1). Если в АСМ добавляется целлюлоза (кривая 2), или древесный уголь (кривая 3), или торф (кривая 4), максимум скорости наблюдается при $\bar{C} = 2/1$. Смесь АСМ с древесными опилками (кривая 5) детонирует с максимальной скоростью при $\bar{C} = 1/1$. Такое значение \bar{C} , видимо, в наибольшей степени соответствует стехиометрическому составу этих смесей. Введением песка в такие динамоны (кривые 6–10) также можно регулировать скорость детонации. Слева все кривые рис. 4 почти соответствуют критическому значению соотношения компонентов (\bar{C}_{cr}). При $\bar{C} < 1/1$ кривые 1 и 4 совпадают, однако для кривой 1 $\bar{C}_{cr} = 1/3$, а для 4 $\bar{C}_{cr} = 1/2$. Для кривой 3 $\bar{C}_{cr} = 1/1$, а для кривых 2 и 5 $\bar{C}_{cr} = 1/3$.

Из рис. 5 видно, что составы АСМ/ДМ=1/1 и 10/1 (кривая 3) детонируют одинаково независимо от толщины заряда со скоростью на ≈ 200 м/с меньше, чем при $\bar{C} = 3/1$ (кривая 1). При $H < 2$ см кривая 2 совпадает с 1, а при $H = 6$ см — с кривой 3, для которой рост скорости детонации больше, чем для кривой 2. Смесей, соответствующие кривой 4, детонируют практически одинаково, только для АСМ/ДО=2/1 $H_{cr} = 2$ см. При этом

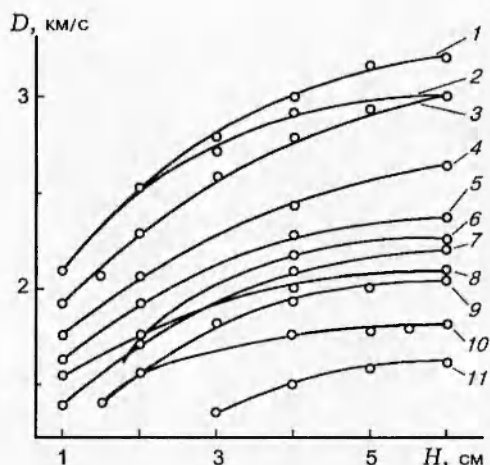


Рис. 5. Зависимости $D(H)$ для динамонов, содержащих твердые горючие компоненты, с инертными добавками:

1 — АСМ/ДМ=3/1; 2 — АСМ/ДМ=2/1 и 5/1; 3 — АСМ/ДМ=1/1 и 10/1; 4 — АСМ/ДМ=15/1, АСМ/То=2/1, АСМ/ДО=2/1; 5 — (АСМ*/ДМ=2/1, 3/1 и 5/1)/П=10/1; 6 — (АСМ/То=2/1)/П=10/1; 7 — (АСМ*/ДМ=10/1)/П=10/1; 8 — (АСМ*/ДМ=15/1)/П=10/1; 9 — АСМ/ДМ=1/2; 10 — (АСМ/ДМ=1/1)/П=4/1; 11 — (АСМ/ДМ=1/2)/П=10/1; * — увлажненная до 0,6 %

их скорости детонации меньше, чем у смеси АСМ/ДМ=3/1 (кривая 1), на ≈ 300 м/с при $H = 1$ см и на ≈ 500 м/с при $H = 6$ см. Смесь АСМ/ДМ при $\bar{C} = 1/2$ (кривая 9) детонирует со скоростью меньшей, чем при $\bar{C} = 3/1$ (кривая 1), на ≈ 700 м/с при $H = 1,5$ см и на ≈ 1000 м/с при $H = 6$ см. При добавке в нее десятой части песка скорость уменьшается на $350 \div 400$ м/с независимо от толщины заряда (см. кривые 9, 11). Для кривых 9 и 10 $H_{cr} = 1,5$ см, а для кривой 11 $H_{cr} = 3$ см. Скорость детонации динамонов с твердыми горючими компонентами существенно снижается при введении в них песка (кривые 5–8, 10, 11 на рис. 5) или влажной селитры (ср. кривые 5, 7 и 8 при $H = 4$ см на рис. 5 с кривыми 10, 9 и 7 на рис. 4 при $\bar{C} = 10/1$).

Результаты настоящего исследования позволяют определить необходимую скорость детонации и толщину заряда для сварки взрывом различных пар материалов при использовании недорогих и простейших составов ВВ. Эти ВВ применяли при плакировании сваркой взрывом разнообразных плоских металлических заготовок площадью до 12 м^2 из различных металлов и сплавов с толщиной плакирующего слоя из

стали, меди, латуни и титана от 1 до 10 мм, а из алюминия — от 2 до 30 мм и с толщиной основного слоя от 4 до 120 мм. Структуры зон соединения материалов, сваренных с использованием зарядов рассмотренных ВВ, практически не отличались от тех, что получены с помощью других ВВ, если параметры соударения материалов были одними и теми же.

ЛИТЕРАТУРА

1. Otto H. E., Carpenter S. H. Explosive cladding of large steel plates with lead // *Welding J.* 1972. V. 51, N 7. P. 7–13.
2. Wittman R. H. The influence of collisions parameters on the strength and microstructure of an explosion welded aluminium alloy // *The 2nd Intern. Symp. Explosive Working of Metals. Marianske Lazne*, 1973. V. 1. P. 153–168.
3. Loyer A., Talerman M., Hay D. R., Gagnon G. Explosive welding: the weldability window for dissimilar metals and alloys // *The 3rd Intern. Symp. «Use of Explosive Energy in Manufacturing Metallic Materials of New Properties by Explosive Welding, Cladding, Hardening, and Metal-Powder-Pressing processes».* Marianske Lazne, 1976. V. 1. P. 43–57.
4. Симонов В. А. Сравнение нижних границ области сварки двух композиций на основе стали // *Сб. тр. 9-й Междунар. конф. по высокоэнергетическому воздействию на материалы.* Новосибирск, 1986. С. 313–316.
5. Кожевников В. Е. Определение практических областей сварки взрывом биметаллов медь+титан, медь+алюминий, титан+алюминий // *Обработка материалов импульсными нагрузками: Сб. науч. тр. Новосибирск*, 1990. С. 236–244.
6. Бешапошников Ю. П., Кожевников В. Е., Чернухин В. И. Получение биметалла алюминий+сталь сваркой взрывом с использованием остаточного давления продуктов детонации // *Там же*. С. 266–269.
7. Бешапошников Ю. П., Кожевников В. Е. и др. Исследование влияния толщины метаемой и неподвижной пластин на необходимой величину пикового остаточного давления продуктов детонации при сварке взрывом титана со сталью // *Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Сб. науч. тр. Волгоград: ВолгПИ*, 1991. С. 73–86.
8. Кудинов В. М., Коротеев А. Я. Сварка взрывом в металлургии. М.: Металлургия, 1978.
9. Кожевников В. Е., Бешапошников Ю. П., Глобин Н. К. и др. Детонация плоских зарядов смесевых ВВ применительно к сварке взрывом // *Физика горения и взрыва*. 1990. Т. 26, № 3. С. 115–118.
10. Бабков А. Д., Бешапошников Ю. П., Кожевников В. Е. и др. Комплексное исследование основных характеристик смесей аммонита 6ЖВ с кварцевым песком применительно к сварке взрывом // *Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Сб. науч. тр. Волгоград: ВолгПИ*, 1991. С. 92–99.
11. Даниленко В. А., Кудинов В. М., Коротеев А. Я. К вопросу о стабильности и устойчивости детонационных волн в крупногабаритных зарядах гетерогенных ВВ и ее влияние на сварку взрывом // *5-й Междунар. симпоз. «Использование энергии взрыва для производства металлических материалов с новыми свойствами сваркой, плакированием, упрочнением и прессованием металлических порошков взрывом»:* Сб. докл. Готвальдов, 1982. С. 336–341.
12. Поздняков З. Г., Росси Б. Д. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. 2-е изд., перераб. доп. М.: Недра, 1977.
13. Дубнов Л. В., Бахаревиц Н. С., Романов А. И. Промышленные взрывчатые вещества. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1988.
14. Веретенев Е. Г., Цыбочкин С. Г., Бартечев В. П., Ткачев А. В. Применение игдани-та при производстве крупногабаритных заготовок сваркой взрывом // *Сб. тр. 9-й Междунар. конф. по высокоэнергетическому воздействию на материалы.* Новосибирск, 1986. С. 330–334.
15. Симонов В. А. Детонация плоских зарядов аммонита 6ЖВ // *Физика горения и взрыва*. 1979. Т. 15, № 6. С. 118–121.
16. Бешапошников Ю. П., Кожевников В. Е., Степанов А. Б., Чернухин В. И. Исследование характеристик аммиачной селитры и ее смесей с кварцевым песком применительно к сварке взрывом // *Физика горения и взрыва*. 1992. Т. 28, № 5. С. 131–132.

Поступила в редакцию 6/1 1999 г.