

УДК 662.215.4

РАЗВИТИЕ ВЗРЫВЧАТОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОГО МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСА НКТ ПРИ МОСТИКОВОМ ИНИЦИИРОВАНИИ

А. Н. Иванов, А. Б. Сырцов, С. Н. Киселёв, Е. Е. Малихов, А. А. Глазырин

РФЯЦ, ВНИИ технической физики им. Е. И. Забабахина, 456770 Снежинск, kb2@vniitf.ru

Приведены результаты экспериментального исследования влияния конструктивных параметров (диаметр, высота, плотность) на развитие взрывчатого превращения энергоемкого металлокомплекса НКТ при мостиковом инициировании. Проведено их сравнение с результатами, полученными при ударно-волновом инициировании.

Ключевые слова: взрывчатое превращение, средства инициирования, детонация, взрывчатые вещества.

DOI 10.15372/FGV20170315

Традиционные электрические низковольтные средства инициирования взрыва основываются на применении инициирующих (первичных) взрывчатых веществ (ВВ) и, как следствие, обладают высокой чувствительностью к внешним воздействиям механической, тепловой и электромагнитной природы. Поэтому задача повышения безопасности и увеличения стойкости электрических низковольтных средств инициирования путем исключения из их состава инициирующих ВВ сохраняет свою особую актуальность.

Одним из наиболее перспективных классов ВВ для создания безопасных электрических низковольтных средств инициирования являются энергоемкие металлокомплексы, чувствительность к удару которых находится в ряду таких бризантных ВВ, как тэн и гексоген [1].

В настоящей работе представлены результаты исследований процесса возбуждения детонации в энергоемком металлокомплексе дихлорат(5-нитротетразолато)-пентаамин кобальта (НКТ) при мостиковом инициировании.

Схема лабораторных макетов, имитирующих мостиковый электродетонатор, приведена на рис. 1. В качестве материала мостика использовалась нихромовая проволока диаметром 40 мкм, сопротивлением 1.4 ÷ 1.6 Ом. Макеты электродетонатора срабатывали от разряда конденсатора емкостью 88 мкФ, заряженного до напряжения 44 В. Если допустить, что сопротивление мостика при прохождении то-

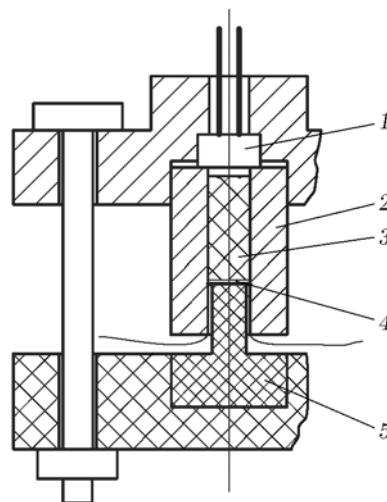


Рис. 1. Постановка опытов по мостиковому инициированию заряда НКТ:

1 — колодка с мостиком, 2 — алюминиевый корпус, 3 — заряд НКТ, 4 — манганиновый датчик, 5 — фторопластовая мишень

кового импульса оставалось постоянным, тепловую энергию E , выделяющуюся на мостике, можно рассчитать по закону Джоуля — Ленца:

$$E = R \int_0^{\Delta t} I^2 dt,$$

где Δt — время протекания тока по мостик до его разрушения, I — значение тока, приведенное на осциллограмме (рис. 2), R — сопротивление мостика. Минимальные значения E и

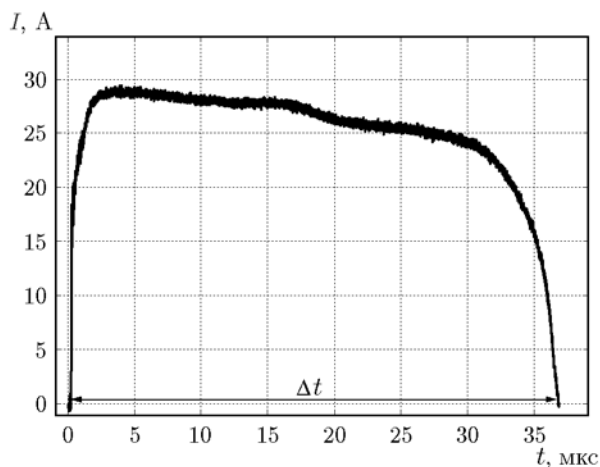


Рис. 2. Оциллограмма импульса тока, протекающего по мостику электродетонатора

Δt , полученные в опытах, составили 28 мДж и 37 мкс соответственно.

Для исследования детонации применялся метод резистивного (манганинового) датчика [2–5]. Чувствительный элемент датчика размещался между зарядом ВВ и фторопластовой мишенью, а варьирование высоты заряда ВВ от опыта к опыту позволяло регистрировать эволюцию профиля детонационной волны. Разрешающая способность схемы регистрации составляла 1.6 нс.

Профили давления, полученные при взрывчатом превращении зарядов НКТ диаметром $d = 5$ мм, различной высоты h и плотности ρ_0 , приведены на рис. 3.

При увеличении высоты заряда НКТ до 9 мм последовательно увеличиваются крутизна фронта и амплитуда давления, дальнейшее увеличение высоты (в пределах 13 мм) не приводит к существенному изменению характеристик волны. Для низкоплотных зарядов НКТ рост амплитуды давления с увеличением высоты заряда происходит несколько быстрее, чем для более плотных зарядов. Увеличение диаметра заряда НКТ до 6 мм не привело к значимому изменению параметров взрывчатого превращения (рис. 3, б, опыт 2).

Для того чтобы оценить степень полноты реакции в опытах, результаты которых представлены на рис. 3, была проведена серия опытов по ударно-волновому инициированию НКТ. В подобных экспериментах могут быть получены профили сигналов, характерные для стационарного режима детонации, которые можно использовать в качестве эталона при оцен-

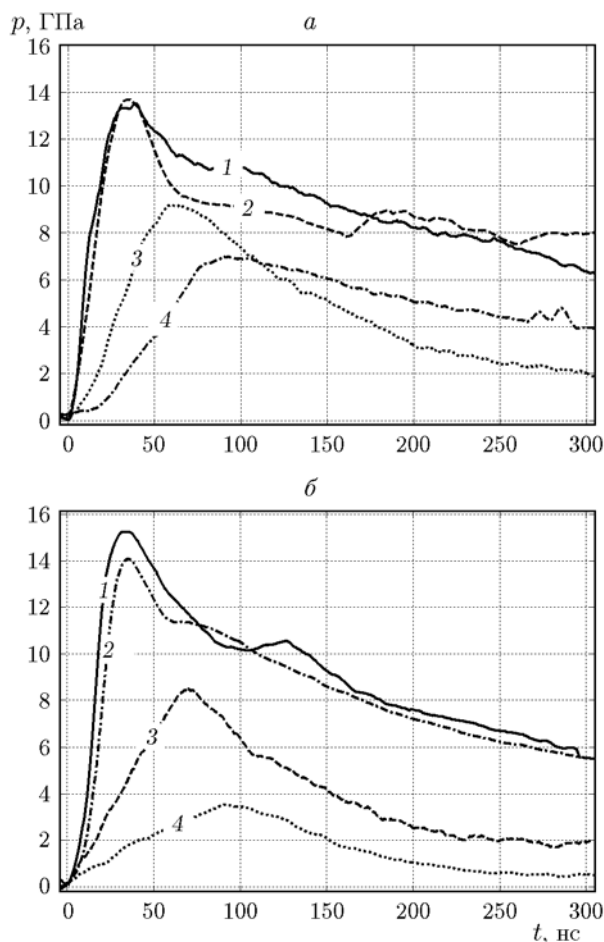


Рис. 3. Профили давления волн взрывчатого превращения, полученные при мостиковом инициировании зарядов НКТ:

а — плотность запрессовки $\rho_0 = 1.5 \div 1.55$ г/см³, диаметр заряда $d = 5$ мм, высота $h = 13$ мм (1), 9.2 мм (2), 6.1 мм (3), 4.5 мм (4); *б* — $\rho_0 = 1.68 \div 1.72$ г/см³, $d = 5$ мм, $h = 9.2$ мм (1), 6.1 мм (3), 4.5 мм (4), для профиля 2 $h = 9.2$ мм, а $d = 6$ мм

ке полноты реакции взрывчатого превращения НКТ.

Эксперименты выполняли в постановке, схема которой показана на рис. 4. Инициирование образцов НКТ электродетонатором осуществлялось через пластину-демпфер, ослабляющую амплитуду ударной волны до величины $p \approx 6 \div 7$ ГПа. В данной постановке испытывались заряды НКТ различной высоты и диаметра. Близкие к нормальным режимы детонации наблюдали в образцах диаметром начиная от 5 мм и высотой от 7 мм. Полученные профили давления детонационных волн приведены на рис. 5. На этом же рисунке для срав-

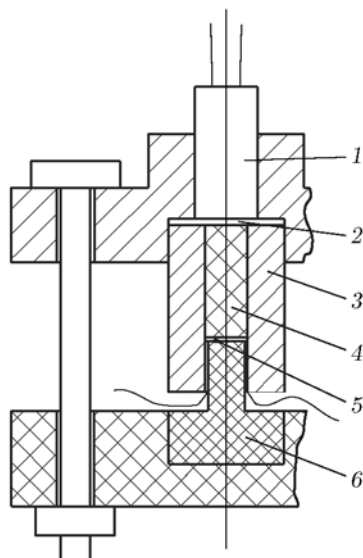


Рис. 4. Постановка опытов по ударно-волновому инициированию заряда НКТ:

1 — детонатор с плоским доньшком, 2 — фторопластовая пластина-демпфер, 3 — алюминиевый корпус, 4 — заряд НКТ, 5 — марганцевый датчик, 6 — фторопластовая мишень

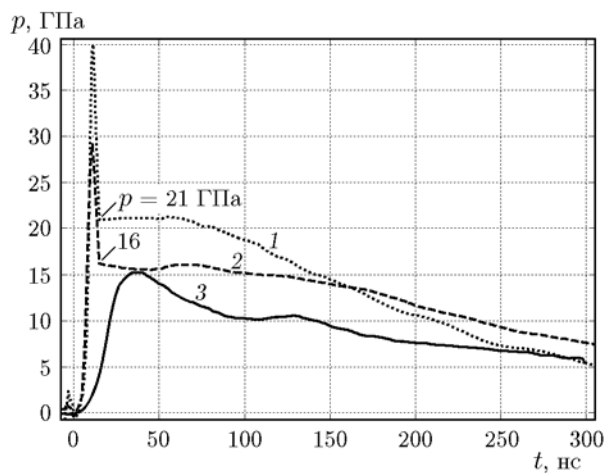


Рис. 5. Профили давления детонационных волн, генерируемых зарядом НКТ:

1 — ударно-волновое инициирование, заряд диаметром $d = 5$ мм, высотой $h = 7$ мм, плотностью $\rho_0 = 1.7$ г/см³, 2 — ударно-волновое инициирование, $d = 5$ мм, $h = 7$ мм, $\rho_0 = 1.5$ г/см³, 3 — мостиковое инициирование, $d = 5$ мм, $h = 9.2$ мм, $\rho_0 = 1.7$ г/см³

нения представлен профиль давления, зарегистрированный ранее в эксперименте с мостиковым инициированием НКТ.

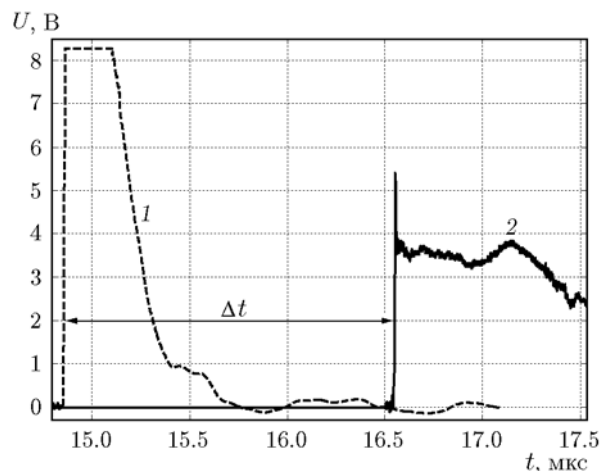


Рис. 6. Определение скорости детонации заряда НКТ ($h = 10.54$ мм, $\rho_0 = 1.51$ г/см³, $\Delta t = 1.68$ мкс):

1 — сигнал электроконтактного датчика, 2 — сигнал марганцевого датчика

Факт достижения стационарной скорости детонации НКТ был подтвержден в экспериментах в постановке, приведенной на рис. 4. Для этого между фторопластовым демпфером и зарядом размещался электроконтактный датчик — «витая пара». Типичная осциллограмма, полученная в данной серии опытов, приведена на рис. 6. Скорость детонации в этом эксперименте составила $D \approx 6200$ м/с. Погрешность ее измерения 5 %.

Проводилось также сравнение расчетных значений скорости детонации с результатами работы [1] (скорость детонации НКТ при диаметре 6.25 мм и плотности $\rho_0 = 1.61$ г/см³ равна 6650 м/с). В двух сериях опытов (см. рис. 5) давление детонации рассчитывалось по формуле $p = \rho_0 D^2 / 4$ (значения p приведены на рис. 5) и допускалась близость ударных адиабат НКТ (при $\rho_0 = 1.5 \div 1.7$ г/см³) и фторопласта. Скорости детонации оказались равными $D \approx 6800$ и 6300 м/с при $\rho_0 = 1.7$ и 1.5 г/см³.

Очевидно, что при мостиковом инициировании разложение ВВ значительно больше растянуто во времени (порядка 50 ÷ 80 нс), чем при инициировании ударной волной (5 ÷ 10 нс), а действующее давление взрывчатого превращения составляет порядка 10 ГПа против 15 ÷ 20 ГПа.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при мостиковом инициировании заряда НКТ диаметром до 6 мм и плотностью

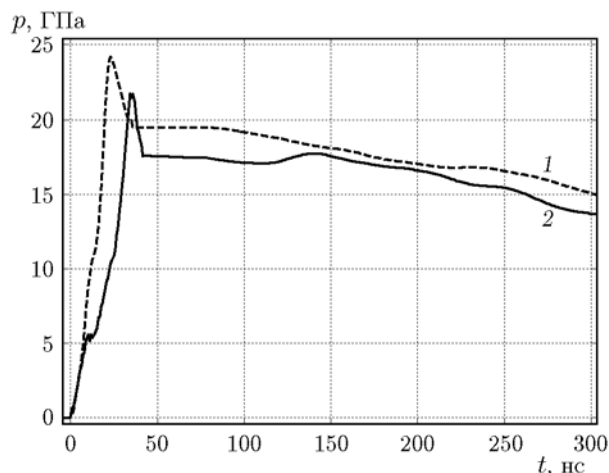


Рис. 7. Иницирование заряда тэна:

1 — высота навески тэна $h = 4.73$ мм, ее плотность $\rho_0 = 1.586$ г/см³; 2 — $h = 1.96$ мм, $\rho_0 = 1.601$ г/см³

1.5 ÷ 1.7 г/см³ процесс взрывчатого превращения при суммарной высоте навесок НКТ до 13 мм не выходит на стационарный режим. Тем не менее экспериментально установлено, что заряд НКТ с приведенными выше характеристиками способен эффективно иницировать заряды штатного ВВ тэна. На рис. 7 приведены профили давления на границе раздела тэн — фторопласт, при этом заряд тэна являлся выходной навеской в макете электродетонатора, изображенном на рис. 1. Конфигурация и плотность зарядов НКТ в этих опытах соответствует характеристикам образца в опыте 2, приведенном на рис. 3. Амплитуды давления, полученные в этих экспериментах, свидетельствуют об иницировании заряда тэна.

Таким образом, энергоемкий металлокомплекс НКТ обладает хорошей восприимчивостью к иницирующему тепловому импульсу (порядка 30 мДж), имеет довольно короткий разгонный участок, на котором параметры взрывчатого превращения становятся достаточными для иницирования штатных ВВ. Время работы макетов электродетонатора с выходной навеской бризантных ВВ составляло не более 45 мкс. Все вышеперечисленное говорит о возможности создания на основе НКТ безопасных малогабаритных мостиковых низковольтных электродетонаторов [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Илюшин М. А., Целинский И. В.** Энергоемкие металлокомплексы в средствах иницирования // Рос. хим. журн. — 2001. — Т. XLV, № 1. — С. 72.
2. **Христофоров Б. Д., Голлер Е. Э., Сидорин А. Я., Лившиц Л. Д.** Манганиновый датчик для измерения давления ударных волн в твердом теле // Физика горения и взрыва. — 1971. — Т. 7, № 4. — С. 613–615.
3. **Канель Г. И.** Применение манганиновых датчиков для измерения давления ударного сжатия конденсированных сред. — М., 1974. — Деп. в ВИНТИ, № 477-74.
4. **Vantine X. H., Shan J., Erickson L., Jansen J.** Precision stress measurements in severe shock-wave environments with low impedance manganese gauges // Rev. Sci. Instrum. — 1980. — V. 51, N 1.
5. **Андреев С. Г., Бойко М. М., Селиванов В. В.** Экспериментальные методы физики взрыва и удара. — М.: Физматлит, 2013.
6. **Электродетонатор:** пат. 2466349 РФ, МПК⁷ F42C 19/12 / Горелик З. А., Киселев С. Н., Сырцов А. Б., Иванов А. Н. и др. № 2010152063; заявл. 20.12.2010; опубл. 10.11.2012.

Поступила в редакцию 20/VII 2016 г.,
в окончательном варианте — 22/XII 2016 г.