



УДК 621.791.76.03:621.7.044.2

## КАМЕРЫ ДЛЯ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ ВЗРЫВОМ (ОБЗОР)

**П. С. ШЛЕНСКИЙ**, инж., **Л. Д. ДОБРУШИН**, д-р техн. наук, **Ю. И. ФАДЕЕНКО**, канд. физ.-мат. наук,  
**С. Д. ВЕНЦЕВ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен анализ существующих защитных устройств и взрывных камер для процесса обработки металлов взрывом. Особое внимание уделено металлическим камерам для сварки взрывом. Кратко рассмотрены преимущества и недостатки различных типов конструкций камер, а также перспективы их совершенствования.

*Ключевые слова:* сварка взрывом, взрывная камера, трубчатая взрывная камера, взрывчатое вещество

Сварка взрывом (СВ) успешно применяется около полувека в различных областях промышленности. При этом объем продукции, изготовленной с использованием данной методики, с каждым годом возрастает. Постоянно увеличивается также номенклатура изделий, производимых с использованием СВ. На сегодня в мире известно более 20 организаций, работающих в области СВ и более 40, применяющих другие взрывные технологии [1]. Вследствие постоянно растущего спроса увеличивается потребность в оборудовании для производства СВ.

Процесс СВ можно вести на открытых полигонах, для чего необходимыми условиями являются наличие больших площадей и удаленность от населенных пунктов. Поскольку это неразрывно связано со значительными транспортными расходами и увеличением себестоимости продукции, предпочтителен вариант цеховых взрывных участков. Вредными побочными факторами при СВ являются воздушная ударная волна, шум и загрязнение окружающей среды токсичными продуктами взрыва. Поэтому одновременно с появлением СВ началась разработка разнообразных устройств и взрывных камер (ВК) для защиты от поражающих факторов взрыва.

Для локализации поражающих факторов взрыва используют различные способы. Простейшим из них является засыпка (забойка) наружных зарядов взрывчатого вещества (ВВ) [2] инертными материалами. Ослабление интенсивности ударной волны в случае применения забоек вызвано расходом части энергии заряда на дробление и разброс материала забойки. Основными недостатками этого метода являются повышенное загрязнение окружающей среды продуктами взрыва и необходимость создания забойки для каждого заряда.

Для уменьшения интенсивности ударных волн возможно применение водяных завес. Например, фирма «DMC Nitro Metal» (Швеция) использует

водяную завесу, создаваемую в воздухе, путем распыления воды дополнительным маломощным зарядом ВВ, взрывааемым с некоторым опережением [3]. Данный способ менее трудоемок, чем забойка, но имеет те же недостатки.

В 1973 г. в ходе работ, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона, установлено явление интенсивного гашения ударных волн в пенах [4], представляющих собой 3...5%-й водный раствор поверхностно-активного вещества в воде. Пена поглощает токсичные газы и частицы пыли, ослабляет шумы, но не решает задачи снижения сейсмических возмущений и защиты от осколков.

Представляют интерес устройства, применяемые для гашения ударных волн в шахтах. По способу ослабления ударных волн их подразделяют на сплошные, перфорированные и разрушающиеся. Сплошные преграды полностью гасят волну, а перфорированные и разрушающиеся — частично. К сплошным преградам относятся стальные двери, клиновые перемычки из бетона, гасящие волну за счет отражения ее от граней перемычки и последующего взаимодействия образовавшихся отраженных волн [5]. Перфорированные преграды имеют отверстия и лабиринты для прохода воздуха, при этом достигаемый коэффициент ослабления ударных волн в зависимости от степени перфорации изменяется от 1,1 до 2,9 [6]. Примером перфорированной преграды является сетка из стальных или пеньковых тросов, в которую для увеличения эффективности гашения ударных волн вплетаются деревянные стойки или полосы транспортной ленты.

При создании участков по металлообработке взрывом нашли применение также отработанные горные выработки, шахты, туннели и другие подземные сооружения, отслужившие свой срок. Преимущество этих участков состоит в том, что проведение в них работ не зависит от времени года, суток и погодных условий. В подземном полигоне практически сохраняются постоянными температура, влажность воздуха и его состав, что позволяет отработать технологию и получать изделия



повышенного качества. Естественные своды подземного полигона избавляют промышленные и гражданские сооружения в окрестностях полигона от воздействия на них воздушной ударной волны взрыва, а также снижают уровень шумового загрязнения.

Несмотря на положительный опыт использования отработанных горных выработок для металлообработки взрывом необходимо отметить, что они, как правило, находятся не в регионах развитого машиностроения, а в регионах горной промышленности. Вследствие этого возникают трудности, связанные с перевозкой на большие расстояния сырья, ВВ и других необходимых материалов. При организации подземных полигонов возникают трудности по перемещению грузов внутри участка и вопросы достаточной прочности сводов. Еще одной сложной задачей является проветривание внутренних помещений после проведения взрыва и устранения повышенной влажности воздуха.

Один из таких участков эксплуатируется в подземных каменоломнях в штате Пенсильвания (США) фирмой DMC. Собранные для сварки листы, уложенные на массивную платформу, подаются во взрывную камеру-туннель по железнодорожным путям, снабженным надежным амортизирующим устройством. После взрыва и продувки платформа с плакированным изделием выкатывается из камеры-туннеля [7].

Создание ВК и взрывного оборудования позволило проводить процесс металлообработки в цеховых условиях. В начальном периоде были попытки строить бетонные ВК. Кое-где они сохранились и действуют до сих пор. Такие камеры громоздки, внешне напоминают толстостенное круглое помещение с куполообразной крышей. Строительство такой камеры требует больших материальных затрат, а допустимое значение заряда ВВ невелико [7]. Поэтому сейчас от бетонных камер отказались и строят металлические ВК, установку которых можно осуществлять как на полигонах, так и в цеховых условиях.

При всем разнообразии перечисленных средств защиты именно металлические ВК предпочтительны в условиях массового производства изделий не слишком больших размеров.

Одной из первых украинских ВК была вакуумная камера, изготовленная и эксплуатировавшаяся в Харьковском авиационном институте [8]. Камера предназначалась для листовой штамповки зарядами массой до 2 кг ВВ. Конструктивно она выполнена в виде цилиндрической оболочки — колпака диаметром 3 м, высотой 2,5 м и опорной части, на которой может быть установлена оснастка диаметром до 2 м. Камера не имела загрузочного люка, доступ к оснастке обеспечивался снятием оболочки с помощью тельфера.

В настоящее время штамповка взрывом ведется на различных типах взрывного оборудования. Каждый тип оборудования имеет свои технологические особенности, преимущества и недостатки, которые зависят от выполняемых технологических операций (вытяжка, раздача, калибровка). Выполненные в Харьковском авиационном институте работы, обобщение опыта заводов СНГ, применяющих взрывную обработку металлов, и анализ возможностей каждого типа оборудования по габаритам деталей, энергоемкости, эксплуатационным особенностям, классам деталей, стоимости и производительности позволили выработать требования [9] ко всем типам оборудования:

надежность в работе, прочность и долговечность;

минимальные капитальные затраты на их строительство;

возможность использования для штамповки деталей с широким изменением габаритов;

удобство и простота при эксплуатации.

К основным типам гидровзрывного оборудования можно отнести гидровзрывной бассейн, броняму, бронеканнеру и вакуум-каннеру. Основным оборудованием при гидровзрывной штамповке являются бассейны, предназначенные для размещения передающей среды (воды) и производства взрыва в условиях безопасности обслуживающего персонала. Бассейн представляет собой стальную цилиндрическую или коническую обечайку, наполненную водой, которая подкрепляется железобетоном. Матрица с заготовкой и закрепленным над ней зарядом ВВ устанавливается в центре бассейна на подкладную стальную плиту, опирающуюся на бетонный шабот. Между шаботом и стенками бассейна имеется гидроизоляция.

Практика показала, что бронямы со стенками из бетона недолговечны, поскольку бетон быстро выкрашивается под действием взрывной нагрузки. Иногда применяют конструкции, в которых стенка бронямы сделана из бетона, защищенного от воздействия ударной волны взрыва металлическими листами. Деревянные бронямы имеют стены, выполненные в виде двух срубов из бревен диаметром 15...20 см. При эксплуатации бронямы необходимо ее тщательное проветривание от газообразных продуктов взрыва [7].

Большой объем теоретических и экспериментальных работ по конструкторской разработке и расчету на прочность оболочек, люков, опорных элементов и других объектов выполнен КТИ ГИТ [10]. Взрывная камера КВГ-16, предназначенная для обработки изделий большой длины, имеет цилиндрическую горизонтально расположенную оболочку (диаметром 1,6 м, толщиной 0,09 м, длиной 8 м), рассчитанную на подрыв заряда мощностью до 16 кг ВВ (рис. 1). Камера оснащена загрузочным люком, имеющим две крышки —



Рис. 1. Взрывная камера КВГ-16 с выдвинутым рабочим столом

внутреннюю (силовую), воспринимающую при взрыве основную нагрузку, и внешнюю (герметизирующую). В камере имеется предметный стол (опора), выполненный из металлических листов с резиновыми прокладками, существенным недостатком которого является малая долговечность верхнего листа, выдерживающего ограниченное количество подрывов. Для загрузки камеры используется специальный манипулятор, вталкивающий изделие с зарядом в взрывную камеру. Внешняя крышка открывается гидроцилиндром, а внутренняя открывается и закрывается штоком манипулятора. В конструкции предусмотрен аварийный люк. Подобные камеры эксплуатируются на Новосибирском стрелочном заводе.

Примером современной сферической ВК для металлообработки взрывом может служить полуавтоматическая камера ВК-10, созданная с использованием опыта, накопленного в НПО «АНИТИМ» (г. Барнаул) (рис. 2) [11]. Камера массой 280 т рассчитана на 20 кг ВВ, диаметр камеры составляет 10,5 м, толщина стенки корпуса — 20 мм.

Мощной сферической ВК является уникальная камера 13ЯЗ, установленная на специальном фундаменте



Рис. 2. Полуавтоматическая взрывная камера ВК-10

даменте (рис. 3), функционирующая в Московском региональном взрывном центре коллективного пользования Российской академии наук (РАН ЦКПВ) [12]. Она представляет собой идеальную сферу диаметром 12 м (различие диаметров в нескольких точках не превышает 3 мм). Корпус камеры выполнен из броневой стали толщиной 100 мм, масса около 500 т, а масса фундамента 320 т. Камера имеет два загрузочных люка — сверху диаметром 600 и снизу диаметром 800 мм. Она рассчитана на взрыв 1000 кг ВВ и успешно испытана. Однако камера предназначена для изучения взрыва в горючих газовых смесях и малоприспособна для производственных целей.

В конструкциях ряда камер используют многослойные оболочки. Так, в том же ЦКПВ эксплуатируется двухслойная цилиндрическая камера объемом 110 м<sup>3</sup>, состоящая из двух металлических цилиндров с толщиной стенки 50 мм, зазор между которыми засыпан стальной дробью толщиной около 350 мм. Камера рассчитана на подрыв 50 кг ВВ.

Оригинальна по способу загрузки и герметизации камера, предназначенная для СВ труб [13]. В торцах ее цилиндрической горизонтально расположенной оболочки имеются соосные отверстия для ввода свариваемых труб с зарядом ВВ. Зазор между трубами и оболочкой герметизируется водяной завесой.

Наряду с обычными ВК исследовательского и производственного назначения нашли применение взрывозащитные камеры (противодиверсионные установки). Особенностью этих камер является то, что они, как правило, имеют прямоугольную форму, работают в ожидательном режиме и при взрыве ВВ предельной массы повторно не используются [10]. Для металлообработки взрывом такие камеры непригодны.

В 1970-х годах в ИЭС им. Е. О. Патона разработана принципиально новая конструкция мощной ВК, рассчитанная на заряды до 200 кг ВВ. Корпус ВК выполнен из отрезков заглушенных



Рис. 3. Уникальная сферическая ВК 13ЯЗ РАН ЦКПВ

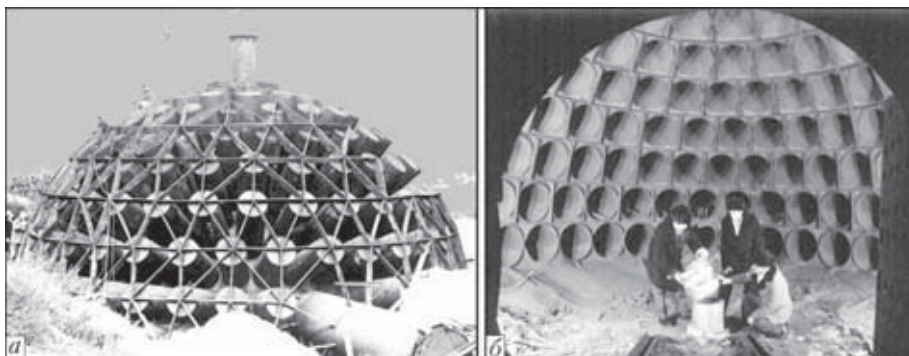


Рис. 4. ТВК на 200 кг ВВ (пгт Глеваха): а — вид во время сооружения; б — вид изнутри

с внешней стороны труб, оси которых пересекаются в центре ВК. Прочность и высокая инерционность трубчатого корпуса обеспечиваются наличием достаточного количества жестких связей между трубами и заполнения межтрубного пространства песчаным грунтом. Основные преимущества такой конструкции — высокая технологичность конструкции, позволяющая изготовить ее из серийно производимых газопроводных труб, и ремонтпригодность.

Были созданы две мощные (на 200 кг ВВ) трубчатые взрывные камеры (ТВК). Первая — на базе Научно-инженерного центра «Материалообработка взрывом» (НИЦ МВ) ИЭС им. Е. О. Патона (пгт Глеваха Киевской области) (рис. 4), вторая в КБ «Южное» (г. Днепропетровск).

Недостатком конструкции ТВК является длительность операций загрузки-выгрузки заготовок, в случае промышленного производства использование этих установок недостаточно эффектив-

но. В связи с этим в 2009–2010 г. была разработана и установлена в НИЦ МВ ТВК с полуавтоматическим механизмом подачи и извлечения заготовки (рис. 5). Данная камера представляет собой усовершенствованную масштабную (1:5) модель ТВК и рассчитана на подрыв до 2,4 кг ВВ. По принципу масштабного моделирования камера М 1:5 соответствует камере на 300 кг ВВ в М 1:1.

Масштабная модель ТВК представляет собой трехъярусную сварную конструкцию с внутренним диаметром 2 м. Основной (средний) ярус состоит из 283 отрезков стальных труб диаметром 140 мм, длиной 600 мм и толщиной стенки 4,5 мм. Внешний ярус составляют днища толщиной 8 мм, заглушающие трубы и стальные стяжки диаметром 16 мм, соединяющие трубы между собой (так называемые связки, по форме напоминающие телефонные трубки). Внутренний ярус образуют сектора полусферы толщиной 8 мм, соединяющие входные отверстия труб и образующие перфорированную внутреннюю полусферическую оболочку. Масса корпуса камеры составляет 3,6 т, таким образом коэффициент отношения массы металла в тоннах к допустимой массе ВВ в килограммах равен 1,5.

Можно утверждать, что к настоящему времени этап разработки ВК общего назначения считается законченным. Определены как основные типы таких камер (сферические, цилиндрические, трубчатые), так и особенности газодинамических процессов и динамики конструкций в них, что обеспечило научную основу для инженерного проектирования [10]. Для полноты не хватает статистики повреждений и разрушений, которая позволила бы сформулировать методику оценки надежности и долговечности ВК в условиях систематической эксплуатации. Первая попытка создания такой методики предпринята в работе [11], однако она основывается на статистическом материале, полученном при эксплуатации сварных конструкций, а не при испытаниях ВК.

Следующий этап разработок — создание узкоспециализированных ВК как элемента оборудования для крупносерийного производства стандартной продукции (в штамповке взрывом этот этап наступил еще в прошлом веке). Для узкос-

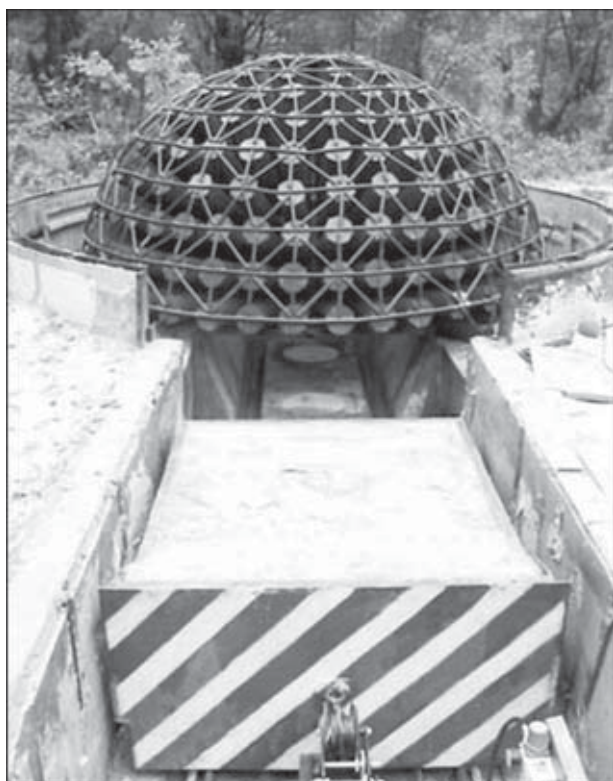


Рис. 5. Общий вид полуавтоматической ТВК

специализированных камер останутся актуальными следующие проблемы:

совершенствование систем автоматической и полуавтоматической загрузки-выгрузки свариваемых заготовок и вентиляции объема ВК с целью сокращения промежутка времени между подрывами;

снижение уровня шумов и сейсмического эффекта.

Одной из специфичных особенностей СВ в камерах является использование плоских зарядов ВВ, размер которых сравним с размерами ВК. Это исключает возможность использования для теоретического анализа весьма удобных упрощений точечного заряда и сферической/цилиндрической симметрии. Известно, что для заданной массы предельно допустимого заряда ВВ минимальную массу должна иметь сферическая ВК. Для цилиндрической симметрии этот показатель несколько выше. Для плоских зарядов больших размеров он возрастает еще в несколько раз [10], что подтверждается и нашими измерениями на камере (рис. 5). Соответственно ВК для СВ должна иметь специфические конструктивные особенности, отличающие ее от обычных камер. Проблема проектирования таких ВК пока далека от разрешения.

Другой особенностью является использование ВВ с инертными заполнителями (чаще всего песок). Это позволяет снизить массу ВВ и уровень шумов, но затрудняет вентиляцию объема ВК и увеличивает выброс экологически нежелательных примесей в атмосферу.

Наконец, для СВ характерны повышенные требования к материалу и конструкции опоры, которая должна хорошо поглощать энергию динамического удара и деформироваться по возможности однородно по всей площади, чтобы уменьшить остаточные деформации плоских изделий большой площади. В настоящее время лучшим материалом для опор при СВ считается металлическая дробь. Она обеспечивает более низкий уровень остаточных деформаций, чем другие материалы. Однако задача дальнейшего снижения остаточных деформаций все еще остается актуальной.

Еще одним актуальным вопросом является возможность вакуумирования ВК. Есть данные о том, что вакуумирование повышает качество сварных соединений, полученных СВ, однако оно усложняет и удорожает конструкцию ВК, снижает их производительность.

В перспективе использование специальных цеховых автоматизированных ВК обеспечит повышение производства тонколистового биметалла для дальнейшего изготовления из него элементов машин и аппаратов и биметалла любых сочетаний и толщин, в том числе и для последующей прокатки.

1. Бэнкер Дж. Г. Промышленное применение сварки взрывом (Обзор) // Автомат. сварка. — 2009. — № 11. — С. 49–53.
2. Единые правила безопасности при взрывных работах. — Киев: Норматив, 1992. — 172 с.
3. Богровски Я., Фручек М., Корзун М. Некоторые проблемы, связанные с уменьшением эффектов взрыва // Использование энергии взрыва для производства металлических материалов с новыми свойствами сваркой, плакированием, упрочнением и прессованием металлических порошков взрывом. III международ. симпоз. (19–22 окт. 1976 г.). — Марианские Лазни, 1976. — С. 515–522.
4. Кудинов В. М., Паламарчук В. И., Гельфонд Б. Е. Гашение ударных волн пенами // Применение энергии взрыва в сварочной технике. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1977. — С. 14–18.
5. Гурин А. А. Управление ударными волнами при взрывных работах. — М.: Недра, 1978. — 81 с.
6. СН 453–73. Указания по проектированию убежищ, размещаемых в горных выработках. — М., 1974. — 58 с.
7. Обработка металлов взрывом / А. В. Крупин, В. Я. Соловьев, Г. С. Попов, М. Р. Кръстев. — М.: Металлургия, 1991. — 496 с.
8. Бажин И. И., Стукалов Н. Г., Чебанов Ю. И. Опыт проектирования вакуумных камер установок цехового типа // Импульсная обработка металлов давлением. — 1970. — Вып. I. — С. 84–87.
9. Кривцов В. С., Борисевич В. К. Состояние и перспективы применения импульсных источников энергии для технологических процессов обработки материалов // Авиац. косм. техника и технология. — 2007. — 47, № 11. — С. 10–17.
10. Демчук А. Ф., Исаков В. П. Металлические взрывные камеры. — Красноярск: РИО КрасГУ, 2006. — 297 с.
11. Николаенко П. А. Напряженно-деформированное состояние и прочность металлических взрывных камер: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2010. — 17 с.
12. Московский региональный центр коллективного пользования РАН (ЦКПВ) // Автомат. сварка. — 2009. — № 11. — С. 91.
13. Pat. 3848794 USA. Explosive welding device / F. William, G. Howel.

Existing protection equipment and explosion chambers for explosion treatment of metals are analysed. The focus is on metal chambers for explosion welding. Advantages and drawbacks of different designs of the chambers and prospects for their upgrading are briefly considered.

Поступила в редакцию 27.01.11